UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

MODELO DE SOLUCIÓN PARA ACCESOS A SERVICIOS *IP* EN BANDA ANCHA PARA ZONAS EN DESARROLLO A TRAVÉS DE TERCEROS OPERADORES

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES

ELABORADO POR

JUAN ARTURO MAURICIO ALOR

ASESOR

MSc. Ing. ALEX SAMANIEGO GUILLÉN

LIMA - PERÚ

2014

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico esta tesis a: mi Sra. madre Juana Alor de Mauricio y a mis hijos Arturo Sidney, Cristian Agusto, Juan Alberto y Carolina Antonella.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial al asesor de mi tesis profesor MSc. Ing. Alex Samaniego Guillén por sus consejos y apoyo brindado, que me fueron muy útiles para llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo, así mismo agradezco a los revisores de la tesis profesores: MSc. Ing. Elvis Rivera Rivera y MSc. Ing. José A. Diaz Zegarra, quienes han colaborado con sus valiosos comentarios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 1
CAPITULO I 2
PRESENTACION GENERAL 2
1.1 Antecedentes 2
1.2 Planteamiento del problema 3
1.3 Hipótesis de tesis 5
1.4 Justificación 5
1.5 Objetivo general 6
1.6 Objetivos específicos 6
1.7 Línea de investigación 6
1.8 Alcances y cobertura 8
CAPITULO II 9
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL 9
2.1 Referencias 9
2.2 Marco teórico 10
2.2.1 Tecnología SDH 10
2.2.2 Tecnología ATM 12
2.2.3 Tecnología Metro Ethernet 15
2.2.4 Tecnología MPLS 19
2.2.5 Tecnología xDSL 22
2.2.6 Tecnología WLAN/Wi-Fi 25
2.3 Marco Conceptual 29
2.3.1 Servicio de multimedia 29
2.3.2 Servicio de telefonía IP 30
2.3.3 Aplicaciones exigidas 32
2.4 Consideraciones de desarrollo 32
CAPITULO III 35
ANÁLISIS SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MODELO ACCESO BA 35
3.1 Análisis de tecnología y regulación 35
3.1.1 Acceso actual para TOs 35
3.1.2 Situación tecnológica 36

3.1.3 Situación tarifaria 39
3.2 Análisis de prestaciones y requerimientos....40
3.2.1 Servicio de acceso BA 40
3.2.2 Servicio de acceso xDSL 42
3.2.3 Servicio de acceso Internet 42
3.3 Modelos de red de acceso BA....43
3.3.1 Alternativa 1 - Concentrador ATM 44
3.3.2 Alternativa 2 - Interworking IWF ATM....44
3.3.3 Alternativa 3 - Nodo de Borde 45
3.3.4 Alternativa 4 - Router de Borde 46
3.3.5 Alternativa 5 - Clear Channel 47
3.3.6 Alternativa 6 - IP VPN L3 48
3.4 Selección de alternativa 49
3.4.1 Análisis alternativas 1 y 2....49
3.4.2 Análisis alternativas 3 y 4....50
3.4.3 Análisis alternativa 5 55
3.4.4 Análisis alternativa 6 55
3.4.5 Alternativa seleccionada como modelo propuesto de acceso BA....56
3.5 Análisis modelos de red IP, VPN y servicio AAA....58
3.5.1 Modelos de red IP....58
3.5.1.1 IP Plano 59
3.5.1.2 L2TP 58
3.5.1.3 VPN 58
3.5.1.4 Modelo de red IP seleccionado alternativa propuesta acceso BA 58
3.5.2 Modelos de red VPN....58
3.5.2.1 VPN Hub & Spoke....59
3.5.2.2 VPN Full Mesh 60
3.5.2.3 VPN Hybrid IP/MPLS 61
3.5.2.4 Modelo de VPN seleccionado alternativa propuesta acceso BA....61
3.5.3 Modelos para el servicio AAA....62
3.5.3.1 Delegado....65
3.5.3.2 Selectivo 65
3.5.3.3 Dedicado....66
3.5.4 Modelo de AAA seleccionado alternativa propuesta acceso BA....66
CAPITULO IV 68
DISEÑO DEL MODELO DE RED SELECCIONADO DE ACCESO BA....68

4.1 Topología de modelo propuesta. 68
4.2 Criterios de diseño de la red 70
4.2.1 Acceso y trasporte L2 actual 70
4.2.1.1 Conectividad actual L2 ATM 71
4.2.1.2 Conectividad actual L2 Metro Ethernet 71
4.2.2 Topología actual de acceso al núcleo IP 71
4.2.3 Topología actual de acceso en el DSLAM Ethernet 73
4.2.4 Diseño lógico propuesto del acceso en el DSLAM ethernet 75
4.2.5 Diseño propuesto para el anillo de SWs de distribución 76
4.2.6 Diseño propuesto para el SW de concentración 78
4.2.7 Diseño de AAA para la línea xDSL 80
4.2.8 Aporte agregación y transporte L3 en Nodo de Borde 81
4.2.9 Perfil del modelo aplicado a localidades 83
4.2.10 Políticas de QoS para la perfomance de la red 86
4.2.10.1 En el nodo de distribución SWD L2 88
4.2.10.2 En el nodo de concentración SWC L2/L3 88
4.2.10.3 En el nodo de borde L2/L3/L4 88
4.2.10.4 En el nodo de backbone L3 88
4.2.10.5 Diferencias QoS y CoS 89
4.3 Configuración de la red 89
4.3.1 Plan de numeración VLAN 89
4.3.2 Análisis de tráfico y monitoreo de SLA 90
4.3.2.1 Conssideraciones de SLA y QoE para tráfico de voz 91
4.3.2.2 Escenario de pruebas para mediciones de QoS de VoIP 94
4.3.2.3 Escenario 1 - pruebas sin QoS (BE) 95
4.3.2.4 Escenario 2 - pruebas con QoS (DSCP) 96
4.3.3 Parámetros de Configuración 98
4.3.4 Configuración de la VPN del TO en los BRAS-NISIP 100
4.3.4.1 Configuración Juniper ERXs 1400 y E320s. 100
4.3.4.2 Configuración de la VPN del TO en los NB Huawei NE80E. 101
4.4 Requerimientos adicionales 102
4.4.1 Conectividad con el centro de servicios (CS) 102
4.4.1.1 Plantilla de configuración en GSR CS 103
4.4.1.2 Parámetros de interconexión en los NB de TdP 105
4.4.1.3 Plantilla de configuración en NE80E 105
4.4.2 Conectividad con el tercer operador 106

4.4.2.1 Requerimientos lado TdP 106
4.4.2.2 Requerimientos lado TO 109
4.5 Evolución de la red propuesta 110
CAPITULO V 114
IMPLEMENTACIÓN DE LA RED, CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO 114
5.1 Pruebas funcionales de concepto 115
5.1.1 Aspectos relevantes a validar 116
5.1.2 Configuración del PEng DSLAM ethernet 116
5.1.3 Configuración de la red Metro Ethernet 117
5.1.4 Configuración del CPE DSLAM Ethernet 118
5.1.5 Resultados de las pruebas de conectividad ADSL 120
5.1.6 Resultados de pruebas ADSL QoS – VoIP/datos 120
5.1.7 Consideraciones para los terminales CPE 121
5.1.8 Configuración en la red para los CPEs 122
5.1.9 Conclusiones de las pruebas de concepto 122
5.2 Provisión de la red y servicios 123
5.2.1 Pre-provisión del servicio 123
5.2.2 Post-provisión del servicio 127
5.3 Caracterización y selección de localidades 127
5.3.1 Caracterización de localidades 128
5.3.2 Selección de localidades 128
5.4 Costos de implementación de los servicios 130
5.4.1 Pagos por servicios 131
5.4.1.1 Estudio para desarrollo del proyecto especial 131
5.4.1.2 Pago mensual recursivo por servicio 131
5.4.2 Conceptos comprendidos 131
5.4.2.1 Enlaces de interconexión 131
5.4.2.2 Circuitos banda ancha xDSL 132
5.4.2.3 Enlaces arrendados 132
5.4.2.4 Circuito Infointernet acceso Ethernet 132
5.4.2.5 Circuitos IP VPN acceso Ethernet 132
5.4.2.6 Líneas telefónicas 132
5.4.3 Conceptos facturables 132
5.4.4 Resumen de costos de servicio 134
5.4.4.1 Estimación de costos de inversión única 134
5.4.4.2 Estimación de costos recursivos mensuales 134

5.5 Caracterización de zona de atención última milla 136
5.6 Ultima milla inalámbrica WLAN/WI-FI 136
5.7 Costos de implementación última milla 138
5.8 Caracterización y costos de implementación del PoP 140
5.9 Resumen de costos de inversión 142
5.10 Análisis Económico e interpretación de resultados 144
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 149
GLOSARIO DE TÉRMINOS 153
BIBLIOGRAFÍA 159
ANEXOS 161

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 TECNOLOGÍAS BÁSICAS DE LA RED 10
TABLA 2.2 EJEMPLO TABLA DE CONMUTACIÓN MPLS 21
TABLA 2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS XDSL 23
TABLA 3.1 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ACCESO A TO 57
TABLA 4.1 PARÁMETROS VLAN INNER 89
TABLA 4.2 PARÁMETROS DE VALORES SLA 92
TABLA 4.3 REFERENCIA DE CODECS DE BANDA ESTRECHA PARA VOZ 93
TABLA 4.4 REFERENCIA DE VALORES QOS DE VOZ 94
TABLA 4.5 COMPARACIÓN DE MEDICIONES SIN QOS Y CON QOS 97
TABLA 4.6 PLANTILLAS DE CONFIGURACIÓN DE LA VPN 99
TABLA 4.7 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN EN GIGA SWITCH ROUTER 103
TABLA 4.8 PARÁMETROS DE INTERCONEXIÓN EN LOS NB DE TDP 105
TABLA 4.9 PARÁMETROS PARA PROVISIÓN DE USUARIOS 109
TABLA 5.1 PLAN DE NUMERACIÓN DE VLANS - METRO ETHERNET 124
TABLA 5.2 PROCESO DE PRE-PROVISIÓN MANUAL DEL SERVICIO 125
TABLA 5.3 LOCALIDADES CARACTERIZADAS PROPUESTAS 129
TABLA 5.4 RESUMEN PERFIL TÉCNICO ZONAS ADMINISTRATIVAS 130
TABLA 5.5 CABECERAS POR ZONIFICACIÓN DEPARTAMENTAL 131
TABLA 5.6 PRECIARIO PAGO ÚNICO POR INTERCONEXIÓN 133
TABLA 5.7 PRECIARIO PAGOS RECURRENTES MENSUALES 133
TABLA 5.8 PAGO ÚNICO LOCALIDAD PROVINCIA Y LIMA 134
TABLA 5.9 PAGO RECURSIVO LOCALIDAD PROVINCIA Y LIMA 135
TABLA 5.10 TABLA DE EQUIPOS WLAN CONTROLLER 139
TABLA 5.11 COSTOS IMPLEMENTACION ÚLTIMA MILLA 139
TABLA 5.12 COSTOS DE ACCESO WI-FI + INTERNET 140
TABLA 5.13 TABLA DE EQUIPOS WLAN CONTROLLER 141
TABLA 5.14 COSTOS POP PROVINCIA Y LIMA 142
TABLA 5.15 COSTO TOTAL ÚNICO Y RECURRENTE PROVINCIA Y LIMA 143
TABLA 5.16 EVALUACIÓN RED DE ACCESO TO PROVINCIA 146
TABLA 5.17 EVALUACIÓN RED DE ACCESO TO LIMA 147

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ACCESO ACTUAL A TERCEROS OPERADORES 5
FIGURA 1.2 PROPUESTA DE ACCESO A TERCEROS OPERADORES 7
FIGURA 1.3 REFERENCIA DE TOPOLOGÍA EN ÁRBOL 8
FIGURA 2.1 ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACIÓN JDP - PDH 11
FIGURA 2.2 EXTRACCIÓN - INSERCIÓN DE SEÑALES JDS - SDH 12
FIGURA 2.3 FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA ATM 13
FIGURA 2.4 LA CAPA ÓPTICA DWDM EN EL TRANSPORTE 15
FIGURA 2.5 TOPOLOGÍA DE RED METRO ETHERNET 16
FIGURA 2.6 TOPOLOGÍA CIRCUITOS VIRTUALES ETHERNET MULTIPUNTO 18
FIGURA 2.7 TOPOLOGÍA CIRCUITOS VIRTUALES MPLS 19
FIGURA 2.8 ESQUEMA DE CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS MPLS 21
FIGURA 2.9 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DSL 22
FIGURA 2.10 ARQUITECTURA ACCESO ULTIMA MILLA RED WI-FI 27
FIGURA 2.11 TOPOLOGÍA DE PROVISIÓN DE SERVICIOS DE VOZ CON SIP 31
FIGURA 2.12 TOPOLOGÍA DE RED IP INTERCONECTADA CON LA RTB 33
FIGURA 2.13 REFERENCIA DE INTEROPERABILIDAD DE REDES DE BA 34
FIGURA 2.14 SERVIDORES SOPORTADOS EN DIFERENTES REDES 34
FIGURA 3.1 MODELO ACTUAL ACCESO A TERCEROS 36
FIGURA 3.2 DSLAM ATM 7300 ASAM Y ETHERNET 7302 ISAM DE ALCATEL 37
FIGURA 3.3 DSLAM ETHERNET MA5600 DE HUAWEI 37
FIGURA 3.4 ESQUEMA DE REFERENCIA PROPUESTO 41
FIGURA 3.5 ESQUEMA DE TRASPORTE DEDICADO PARA INTERNET 43
FIGURA 3.6 MODELO CON CONCENTRADOR ATM 44
FIGURA 3.7 MODELO ETHERNET CON INTERWORKING ATM 45
FIGURA 3.8 MODELO CON METRO ETHERNET Y NODO DE BORDE 46
FIGURA 3.9 MODELO CON METRO ETHERNET Y ROUTER DE BORDE 47
FIGURA 3.10 MODELO CON CLEAR CHANNEL 48
FIGURA 3.11 MODELO CON RED IP-VPN L3 49
FIGURA 3.12 MODELO CAPAS PROTOCOLO ATM 49
FIGURA 3.13 ESTRUCTURA E INTERCONEXIÓN SWITCH L2/L3/L4 53
FIGURA 3.14 CAPA DE PROTOCOLO MPLS 53

FIGURA 3.15 DETALLE PILA DE PROTOCOLOS 54
FIGURA 3.16 MODELO HUB & SPOKE 59
FIGURA 3.17 MODELO FULL MESH 60
FIGURA 3.18 MODELO HIBRIDO IP/MPLS.....61
FIGURA 3.19 MODELO ACCESO BANDA ANCHA DELEGADO 65
FIGURA 3.20 MODELO ACCESO BANDA ANCHA SELECTIVO 66
FIGURA 3.21 MODELO ACCESO BANDA ANCHA DEDICADO 67
FIGURA 4.1 MODELO TOPOLÓGICO ACCESO BA XDSL IP/MPLS 70
FIGURA 4.2 MODELO ACCESO Y TRANSPORTE L2 71
FIGURA 4.3 MODELO CONECTIVIDAD L2 METRO ETHERNET 71
FIGURA 4.4 MODELO DE ARQUITECTURA DE ACCESO AL CORE IP 72
FIGURA 4.5 TOPOLOGÍA DE REFERENCIA BACKBONE DE NÚCLEO IP.....73
FIGURA 4.6 CAPAS DE PROTOCOLO ACCESO AL AGREGADOR 74
FIGURA 4.7 MAPEO DE UN PUERTO DEL MODEM A UN PVC 75
FIGURA 4.8 MAPEO SERVICIOS INTERNET, VOZ Y VIDEO EN DSLAM.....76
FIGURA 4.9 MANEJO DE TRAFICO EN LOS ANILLOS METRO ETHERNET 77
FIGURA 4.10 MANEJO DE TRAFICO EN EL SWITCH DE CONCENTRACIÓN 79
FIGURA 4.11 TOPOLOGÍA DE ACCESO METRO ETHERNET PROPUESTA.....80
FIGURA 4.12 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE LA LÍNEA DSL 81
FIGURA 4.13 MODELO VRF RED IP/MPLS 83
FIGURA 4.14 TOPOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE DATOS 84
FIGURA 4.15 TOPOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE VOZ 85
FIGURA 4.16 ESQUEMA INTEGRAL DE SERVICIOS VOZ + DATOS 86
FIGURA 4.17 PLATAFORMA DE MEDICIÓN QOE PARA SLA 91
FIGURA 4.18 ESCENARIO 1 - MEDICIÓN DE VOIP SIN QOS 91
FIGURA 4.19 ESCENARIO 2 - MEDICIÓN DE VOIP CON QOS 91
FIGURA 4.20 BRAS - NISIP - AGREGADOR ERX 1400 DE JUNIPER.....100
FIGURA 4.21 BRAS - NISIP - AGREGADOR E320 DE JUNIPER 100
FIGURA 4.22 SWITCH CAPA L2/L3/L4 NE80E DE HUAWEI 101
FIGURA 4.23 MODELO DE CONECTIVIDAD IP DE LOS AAA 102
FIGURA 4.24 GIGA SWITCH ROUTER 12000 DE CISCO 102
FIGURA 4.25 SW NE40E - 8512 HUAWEI Y BRAS VXR 7600 CISCO.....102
FIGURA 4.26 CONECTIVIDAD CON EL TERCER OPERADOR 107
FIGURA 4.27 ARQUITECTURA VLL-VPN 2 PARA SERV. INTERNET Y DATOS 111
FIGURA 4.28 ARQUITECTURA VPLS-VRF PARA SERVICIOS VOIP Y VIDEO 113
FIGURA 5.1 DIAGRAMA TOPOLÓGICO DE PRUEBAS 115

FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE FLUJO PRE-PROVISIÓN DEL SERVICIO 126
FIGURA 5.3 PROVISIÓN ALTA DE SERVICIO 126
FIGURA 5.4 CONECTIVIDAD ACCESO INALÁMBRICO 137
FIGURA 5.5 INTERCONECTIVIDAD ACCESO INALÁMBRICO 138
FIGURA 5.6 INTEROPERATIBILIDAD TO CON RED NGN Y PSTN 141

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESTRUCTURA ATM - ADLSL PARA CALCULO DE TARIFA 161
ANEXO B: TARIFAS PARA TO - RES. PRES. Nº 039-2008-PD/OSIPTEL 162
ANEXO C: COMPARACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET SOBRE ATM 163
ANEXO D: CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DSL 164
ANEXO E: BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA INALÁMBRICA WI-FI 165
ANEXO F: REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y FUNCIONALIDADES DE NB 166
ANEXO G: FRAGMENTO DE PLAN DE NUMERACIÓN VLANS DE TDP 167
ANEXO H: MEDICIONES DE CALIDAD DE VOZ 168
ANEXO I: MEDICIONES DE QOE - SLA DE SERVICIOS ADSL TDP 171
ANEXO J: TARIFAS REFERENCIALES DE TDP. 172
ANEXO K: CONSIDERACIONES DE FITEL 174
ANEXO L: REFERENCIAS BROCHURES EQUIPOS USADOS EN PRUEBAS 175

RESUMEN

Este trabajo de tesis titulado “Modelo de solución para accesos a servicios IP en Banda Ancha (BA) para zonas en desarrollo a través de Terceros Operadores (TOs)”, desarrollado como ex alumno de post-grado de la Universidad Nacional de Ingeniería, facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, tiene como objetivo proponer un modelo de red IP óptimo, para que un TO pueda ofrecer servicios de acceso de BA soportándose en la infraestructura de un operador dominante proveedor de servicios de tele-comunicaciones, facilitando la implantación de redes de acceso locales para satisfacer requerimientos de usuarios finales principalmente en zonas en desarrollo y áreas rurales.

El modelo actual para TOs ofrecido por el operador dominante en nuestro país, Telefónica del Perú S.A.A., está basada mayormente en tecnología ATM (Modo de Transferencia Asíncrono), tecnología actualmente en fase de salida, por lo que la metodología y procedimiento para el desarrollo del presente estudio se enmarcan en proponer nuevos modelos basados en tecnología Ethernet con redes virtuales para lo cual se desarrollan pruebas funcionales en laboratorio a fin de validar su eficiencia y flexibilidad y verificar su funcionamiento y correcta operación.

El estudio está orientado a dar una solución integral técnica con miras a servir aquellos sectores que cuentan con escasa infraestructura de telecomunicaciones o planta externa inadecuada o saturada, permitiendo de esa forma el acceso a servicios IP de BA, tales como: Internet, VoIP, multimedia y valor agregado (transacciones electrónicas, tele-educación, tele-medicina y comercio electrónico).

La presentación final de resultados se consolida con la implantación de la solución planteada, se caracterizan localidades para que sean atendidas como piloto en un corto/mediano plazo, para lo cual se proponen la utilización de facilidades técnicas existentes en la red de Telefónica del Perú S.A.A., la utilización de recursos del FITEL (Fondo de Inversión en Telecomunicaciones) y costos referenciales sujetos a ser regulados y optimizados con tarifas actualizadas para tecnología Ethernet por parte de OSIPTEL (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones).

ABSTRACT

This thesis work named "Model of solution for accesses to IP services in wide Bandwidth or Broadband (BB) for development zones across Third Operators (TOs) ", developed as ex-student of Post-grade of the National University of Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Electronics, aims to propose an efficient model of IP network in the way that a TO would be able to offer broadband access services, being supported in the infrastructure of a domineering Carrier provider of telecommunications services, facilitating the implantation of local access networks in order to satisfy the final wideband requests of users, principally in development zones and rural areas.

The current model for TOs offered by the domineering operator in our country, Telefónica del Perú S.A.A.*, is based mainly on ATM (Asynchronous Transfer Mode), technology actually on phase out, so the methodology and procedure for the development of this study are framed in proposing new models based on Ethernet technology with virtual networks, thereby it develops functional tests in laboratory in order to validate its efficiency and flexibility and verifies its functioning and correct operation.*

The study is faced to give an integral technical solution with a point of view to serving those sectors that are provided with scarce infrastructure of telecommunications or saturated and inadequate external plant, allowing in this way , an adequate access to IP services of wide band, such as: Internet, VoIP, multimedia and added value, between others services.

The final presentation of results are consolidated with the implantation of the proposed solution, localities are characterized thus in this manner they can be attended as a pilot in a short / medium term, in that way there are proposed the use of technical existing facilities of the network of Telefónica del Perú S.A.A., *use the economic financiers resources of* FITEL (Fondo de Inversión en Telecomunicaciones) *and referential costs subject to be regulated and optimized by the update of the tariffs for technology Ethernet by* OSIPTEL (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones).

INTRODUCCIÓN

En el último quinquenio han aparecido nuevas tecnologías como consecuencia del esfuerzo investigador en el campo de las tecnologías, siendo así que en los últimos años los operadores de telecomunicaciones han desarrollado mejoras en sus redes y servicios. No obstante en la actualidad aún es necesario innovar tecnología en redes de BA debido a que el entorno exige dar nuevas soluciones con cambios relevantes en los modelos ya implantados y en paralelo promover ajustes importantes en el tema de la regulación tarifaria a fin de impulsar la competencia en el mercado de las telecomunicaciones en el país, entendiéndose por BA conforme los organismos de normalización a aquellos servicios o accesos que puedan ofrecerse al usuario como mínimo en 2 kbps.

En dicho contexto se plantea utilizar nuevas tecnologías para brindar servicios de acceso de BA con el objetivo de permitir la atención de usuarios ubicados en zonas marginales que tienen necesidades de acceso de BA con tarifas reducidas, posibilitando nuevas oportunidades de desarrollo y extendiendo la solución a problemáticas similares en todo el territorio nacional. El presente estudio contribuye con un modelo de acceso para que a través de TOs se pueda brindar servicios IP en BA, de tal forma que se propicie una mayor competencia, primero proponiendo cambios de tecnología en las redes existentes que permitan abaratar los costos para el ingreso de TOs y segundo proponiendo se mejore las tarifas reguladas para que se impulse con o sin participación financiera del estado el despliegue a nivel nacional del modelo propuesto en las zonas en desarrollo y sectores marginales.

La presente tesis se ha desarrollado en 5 capítulos fundamentales, describiéndose en el primer capítulo las generalidades de formalidad de la investigación, en el segundo capítulo el marco teórico, conceptual y consideraciones para el desarrollo del estudio, tercer capítulo el análisis de las alternativas y selección del modelo de acceso BA propuesto, cuarto capítulo el diseño integral del modelo de red seleccionado y sus interconexiones correspondientes, en el quinto y último capítulo la implementación de la red propuesta, caracterización, costos y análisis económico, y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I
PRESENTACIÓN GENERAL

En este capítulo se describe los antecedentes del acceso de BA[1] en el país, se formula el problema que justifica la importancia de desarrollar un modelo de acceso de BA planteándose: objetivos, hipótesis, alternativas, variables e indicadores que esbozan un planteamiento de solución integral para TOs[2]. Así mismo se describe los alcances, cobertura; aspectos que considera en su nivel de investigación tanto en su parte teórica como práctica, presentando los temas a ser determinados, diseñados y desarrollados.

1.1 Antecedentes

En la década anterior, las redes de datos de los operadores de comunicaciones en el país, eran orientadas a servir mayormente a las áreas urbanas de clase media a alta y al sector empresarial, debido a que en las zonas marginales en desarrollo, incluyendo las áreas rurales en el interior del país, además de que no contaban con infraestructura adecuada, no existía una demanda sólida de necesidades prioritarias de comunicaciones de datos que hiciera posible la inversión con criterios de rentabilidad.

En la actualidad debido a la globalización y el Internet, el tráfico de datos se extiende cada vez más hacia y desde el interior del país, causando el incremento de usuarios en zonas marginales en desarrollo, lo cual torna inadecuados los accesos tradicionales basadas en tecnologías TDM *(Time Division Multiplexer*), FR (*Frame Relay*), y ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) creándose la necesidad de realizar cambios usando nuevas tecnologías basadas en Ethernet, IP y -VPNs (Redes Privadas Virtuales).

---

[1] BA: El concepto de Banda Ancha ha evolucionado con los años. La velocidad que proporcionaba RDSI con 128Kb/s dio paso a sistemas DSL llegando a alcanzar desde la velocidad de 512 Kb/s hasta los 2 Mb/s simétricos. Bajo ese enfoque definimos en la presente tesis como un circuito de BA a una velocidad a partir de 2Mb/s.

[2] TOs: Definimos como Terceros Operadores a empresas constituidas registradas en el MTC con licencia para ejercer actividades de proveedores de servicios de Internet y de valor agregado con concesiones para acceso-interconexión, compartición de infraestructura de redes existentes amparados en el régimen de competencia y lineamientos de política de apertura del mercado de telecomunicaciones aprobados mediante Decreto Supremo Nº 020-98-MTC y sus modificatorias (derecho de libre competencia en telecomunicaciones y tecnología de la Información), con acuerdos de confidencialidad del secreto de las telecomunicaciones conforme disposiciones legales.

El crecimiento de los servicios modernos deben ser necesariamente proveídos con nuevas tecnologías soportadas en protocolo IP, intranets, extranets, VPNs con *Routing & Forwarding* VRF's etc., que hacen imperativa la necesidad de diseñar y plantear nuevos esquemas de acceso a la red en BA con interoperabilidad con las redes existentes de tal manera que permita todas las operaciones en las redes de datos con las redes a ser extendidas hacia las áreas más desatendidas.

El incremento de las aplicaciones de red y servicios, aumentan la necesidad de accesos con mayor capacidad, por lo que se hace necesario un modelo de solución integral IP que permita la migración de conectividades aún existentes de Banda Estrecha (BE)[3] como el *Dial-Up* y de la RDSI o ISDN *(Integrated Services Digital Network*) hacia accesos de BA de última milla con tecnología alámbrica del tipo xDSL (*Digital Subscriber Line Family*) complementada con accesos finales inalámbricos Wi-Fi.

1.2 Planteamiento del problema

Telefónica del Perú S.A.A[4], en adelante TdP, como principal operador dominante, tiene desplegada una red de telecomunicaciones a nivel nacional, en la que existen zonas en desarrollo y sectores emergentes, en donde su red se encuentra orientada a servicios de voz y limitada en servicios de datos en BA, sujetos sólo a disponibilidad de facilidades técnicas. Dentro de ese contexto en dichos sectores y zonas solo se puede

[3] BE: Constituido por el *Dial Up* (conexión por línea conmutada) y RDSI, son formas de acceso a Internet en la que el cliente utiliza módems para llamar a través de la Red Telefónica Conmutada (RTC) o Red Telefónica Digital (RTD) al nodo del ISP, mediante un servidor de acceso y el protocolo TCP/IP para establecer un enlace módem-a-módem, que permite que se enrute a Internet. Sorprendentemente en la actualidad TdP aún tiene miles de suscriptores a nivel nacional donde muchas personas cuenten únicamente con esa opción de conectividad para tener acceso a la red y en otros casos como una especie de respaldo para situaciones de 'contingencia', siendo este servicio en la actualidad inapropiado debido principalmente a la desventaja que este tipo de conexión es muy lenta comparada con las conexiones de banda ancha existentes actualmente.

[4] Telefónica del Perú S.A.A: Nombre comercial Movistar, es la filial del Grupo Telefónica en el Perú (sede principal en España). Se constituyó mediante la fusión en 1994 de la Compañía Peruana de Teléfonos S.A. (CPT) y la Empresa Nacional de Telecomunicaciones S.A. (Entel Perú), año en que el estado subastó las acciones de ambas en el marco de un proceso de privatización. La CPT se constituyó en la ciudad de Lima mediante escritura pública del 25 de junio de 1920 inicialmente con la denominación de Compañía Peruana de Teléfonos Limitada para prestar servicios de telefonía local. Entel Perú S.A. se creó en 1969 como la empresa encargada de prestar servicios de telefonía local fuera de Lima, así como los servicios de larga distancia nacional e internacional. Actualmente el estado ha renovado el contrato de concesión a TdP por 18 años y 10 meses a partir de Febrero del 2013. Para la renovación de la cobertura nacional, el regulador propuso 14 meses menos como sanción y una penalidad que corresponde a los incumplimientos de la compañía española.

contar con una disponibilidad adecuada de servicios de datos en BE, toda vez que el acceso a servicios IP tiene serias limitaciones de ancho de banda y en algunos casos estos servicios son inexistentes como son en las áreas rurales más alejadas.

Los modelos de redes tradicionales aun en operación en éstas áreas, con una complicada conectividad para servicios de datos vía la RTC/RTB (Red Troncal Conmutada o Red de Telefonía Básica, también conocida como PSTN (*Public Switching Telephony Network*), no permiten soportar eficientemente la convergencia de nuevos servicios, debido a que las tablas de rutas se hacen difíciles de manejar por el tamaño y la dinámica actual que impone los modernos servicios IP y el acceso masivo de usuarios.

Se hace necesario por lo tanto acomodar en las actuales redes existentes, con criterio de interoperabilidad, elementos de red que manejen estas crecientes demandas, para converger en una red de transporte de alta capacidad y con medios eficientes para el acceso en BA. Esta problemática descrita crea la necesidad de plantear una evolución de las redes actuales, para lo cual se proponen estrategias para que se puedan brindar servicios de acceso de BA por parte de terceros operadores, mediante la utilización de nuevas tecnologías de acceso para BA sobre la infraestructura “abierta” de red pública de operadores dominantes existentes.

Estas estrategias son plasmadas en el modelo de red propuesto en la presente tesis que permitirá crear un vehículo inicial para que nuevos proveedores de servicios de Internet o de acceso de comunicaciones en BA, en adelante denominados TOs se extiendan más allá del suministro de ancho de banda en solo áreas urbanas, permitiendo incluso ofrecer a las zonas y sectores propuestas dentro de la cobertura y alcance del presente estudio.

A esta situación tecnológica hay que sumar el tema vinculado de la regulación tarifaria para el acceso de BA para TOs, en donde a pesar que la tecnología basada en ATM está en “fase de salida”, las tarifas vigentes de entrada para un nuevo operador representan un elevado costo, lo cual no hace un negocio muy atractivo para el TO entrante, en la FIGURA 1.1 se muestra la referencia de acceso actual a terceros operadores (Ver ANEXO A y ANEXO B).

FIGURA 1.1 ACCESO ACTUAL A TERCEROS OPERADORES
(Fuente: Elaboración propia)

Con la utilización de tecnología moderna, tales como acceso ethernet, trasporte IP/MPLS etc., se hace mucho más viable la entrada de nuevos operadores ya que al abaratarse la tecnología se reducen los costos y por ende las tarifas, así el TO tendrá mayores incentivos, rompiéndose de esta manera la barrera de entrada al mercado de nuevos operadores, lo cual también permitirá el logro de los objetivos del gobierno para que otros operadores compitan con el operador dominante lográndose en las zonas marginales y sectores emergentes la implantación de accesos para servicios IP en BA.

1.3 Hipótesis de tesis

Este trabajo pretende demostrar que existen alternativas y tecnologías del lado del operador dominante en diferentes niveles de aceptación para brindar accesos a servicios IP en BA para zonas en desarrollo que cuentan con escasa infraestructura, servicio inadecuado o sin servicio, que hay un efecto de la tecnología que se utilice y de la regulación tarifaria vigente para identificar un modelo de red adecuado que permita hacer atractiva la participación de terceros operadores en la solución a la necesidad de incremento de accesos de BA a nivel nacional.

1.4 Justificación

Considerando lo siguiente:

- Que en las zonas de desarrollo y sectores señalados las empresas operadoras en el sector telecomunicaciones en el Perú aún no cuentan con infraestructura suficiente para el acceso en BA, que soporten con escalabilidad las demandas de velocidades y ancho de banda de los nuevos servicios IP y en general comunicaciones de datos.
- Que en algunos casos para el acceso a los servicios de datos se continua usando como infraestructura de comunicación la PSTN (Dial UP) y TDM en las que por su limitación de ancho de banda en el acceso el rendimiento total de paquetes por segundo está en un orden de magnitud muy lento para las necesidades actuales de interconexión.

- Que existen casos en que las redes de datos aún se soportan en tecnologías *legacy* FR o ATM con el inconveniente que no permiten reducir los costos para el abaratamiento del acceso.

Se justifica ampliamente la implantación de un nuevo modelo de red para que con el uso de tecnologías modernas basadas fundamentalmente en Ethernet, IP/MPLS y VPNs, se reduzcan los costos de entrada de TOs para brindar servicios de acceso de BA en las zonas marginales y sectores emergentes incluyendo áreas rurales en desarrollo.

1.5 Objetivo general

El objetivo general de la presente tesis es proponer y recomendar la implantación de un modelo de solución integral técnica, para brindar servicios IP en BA, soportada en una plataforma de acceso de BA para atender zonas marginales en desarrollo y nuevos sectores emergentes.

1.6 Objetivos específicos

Como objetivos específicos se contempló investigar, determinar, diseñar y desarrollar los siguientes temas:

- Se investigó los estándares de tecnologías de acceso y transporte.
- Se investigó las arquitecturas de redes de BA.
- Se investigó la tecnología de terminales CPE (*Customer Premises Equipment*).
- Se determinó la topología de acceso BA más eficiente.
- Diseñar, dimensionar y caracterizar el modelo de red.
- Investigar, proponer y diseñar el modelo de red IP a ofrecerse en BA.
- Desarrollar escenarios aplicables a los lugares caracterizados en este estudio.

1.7 Línea de investigación

El proyecto de desarrollo comprendió el estudio comparativo desde el punto de vista técnico-económico de diversas alternativas de acceso de BA, diseño de los servicios IP que incluyen servicios: Internet, VoIP, multimedia *streaming* de vídeo y valor agregado (transacciones electrónicas, tele-educación, tele-medicina y comercio electrónico, p.e.: operaciones con tarjetas electrónicas), servicios fundamentalmente soportados en el uso de VPNs (*Virtual Private Networks* - Redes Privadas Virtuales). Cabe enfatizar que las VPNs mencionadas son la base fundamental de la tecnología propuesta y su evolución como red, donde se considera tanto VPN en capa 3 (con MPLS y VRF), como VPN en capa 2 con VPLS (*Virtual Private LAN Service*) y VSI (*Virtual Switch Instance*), en la

FIGURA 1.2 se muestra una referencia global que esquematiza la idea de la solución propuesta usando enlace de interconexión en F.O. (Fibra Óptica).

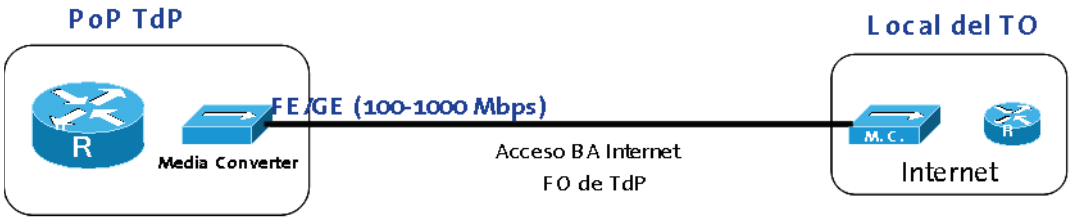


FIGURA 1.2 PROPUESTA DE ACCESO A TERCEROS OPERADORES
(Fuente: Elaboración propia)

Cabe mencionar que la diferencia entre una VPN de capa 3 y una VPN de capa 2 radica que en la VPN L3 las tablas FIB *(Forwarding Information Base*) se llaman VRF (*Virtual Route Forwarding*) o *VPN Routing and Forwarding (Layer 2 forwarding protocol)* y almacenan las rutas de una determinada VPN, mientras que en la VPN L2 las tablas FIB se llaman VSI (*Virtual Switch Interfaces*) y contienen direcciones MAC (*Media Access Control*), estos conceptos se describen en detalle en los capítulos subsiguientes.

La propuesta de implantación del modelo será a través de un TO, para lo cual se realiza un análisis de caracterización de una localidad ideal que permita servir de referencia piloto, para luego de ser regulada la nuevas tarifas de acceso por OSIPTEL[5], sea posteriormente implantado masivamente en los lugares que se ajusten a dicha caracterización, teniendo como criterio principal apuntar a localidades que no requieren la realización de inversiones relevantes en transmisión y que pueden ser atendidas en el corto plazo por con costos mínimos y criterios de rentabilidad, en la FIGURA 1.3 se muestra un esquemático general del PoP (*Point of Presence*) y cabeceras que son implementaciones del TO y las ciudades intermedias que son infraestructura de trasmisión o transporte alquilado del operador dominante.

[5] OSIPTEL: Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, es una entidad pública descentralizada encargada de regular y supervisar el mercado de servicios públicos de telecomunicaciones, independiente de las empresas operadoras. El OSIPTEL está adscrito a la Presidencia del Consejo de Ministros, fue creado el 11 de julio de 1991 mediante Decreto Legislativo Nº 702, e inició sus actividades con la instalación de su primer Consejo Directivo el 26 de enero de 1994. Tiene como facultad fijar tarifas de los servicios públicos de telecomunicaciones; actualmente estas tarifas son establecidas libremente por cada empresa operadora, de acuerdo con las condiciones de oferta y demanda en el mercado; no obstante, el OSIPTEL puede establecer tarifas tope para determinados servicios. El Osiptel propuso una rebaja para el periodo setiembre 2013-agosto 2016, en el rubro de nuevas instalaciones, renta mensual y larga distancia.

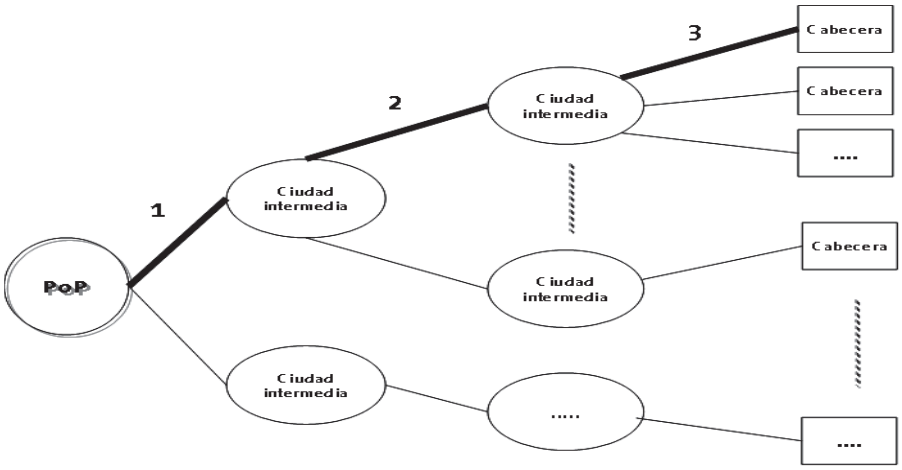


FIGURA 1.3 REFERENCIA DE TOPOLOGÍA EN ÁRBOL
(Fuente: Elaboración propia)

Para algunas localidades, además del costo asociado a la solución propuesta para el acceso en BA, se estima requerirán también inversiones para sus sistemas de energía, en otros casos inversiones adicionales para el incremento de las capacidades de transmisión en determinados puntos de la red de transporte de TdP, por lo que para estos casos habría que tener en consideración inversiones extras que según se presenten los casos se puede solicitar apoyo económico a organismos financieros.

1.8 Alcances y cobertura

El presente estudio considera los alcances y cobertura siguiente:

- Descripción y análisis de tecnologías principales de accesos de BA.
- Análisis de las alternativas técnicas de solución, propone el modelo a utilizar y desarrolla la ingeniería del modelo propuesto.
- Caracterización del modelo proponiendo una solución integral recomendando su implantación en lugares con características específicas.
- Análisis de la parte económica mostrando los parámetros de rentabilidad que da una visión de referencia de las inversiones y márgenes de utilidad.

La parte teórica se centra en la descripción de aplicaciones tecnológicas para el acceso de BA, detallando los elementos de red en el acceso y transporte, descripción de los servicios a implementar, descripción de la provisión de los servicios y evaluación económica. La parte práctica comprende el dimensionamiento, diseño del modelo de red, pruebas de validación, configuración de los elementos de red que comprenden el modelo y propuesta de caracterización de localidades para su implementación.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

El propósito de este capítulo es describir el marco teórico, marco conceptual, desarrollar las teorías para la convergencia de redes, tecnologías que intervienen en la implementación de las redes de BA, la interoperabilidad con las redes existentes y referir las variables para la implementación de nuevos servicios y aplicaciones.

2.1 Referencias

"El avance tecnológico de transmisión de voz, datos y video ha llevado a una variedad de estándares y protocolos basados en nuevas tecnologías que buscan la simplificación en brindar más servicios para los diversos tipos de usuarios, siendo los servicios basados en IP los que se han impuesto en el mercado mundial de telecomunicaciones" [11]. La convergencia de los entornos de voz, datos, imágenes, y video en un único terminal se hacen factibles con la introducción de equipos de mayor capacidad técnica, las nuevas estrategias de optimización en inversión de tecnología hacen posible que también por una sola red se pueda transmitir voz, datos, imágenes, VoIP, acceso a la *web* etc.

"La popularización de Internet a través de *Desktops, Laptops, Tablets y Smartphones* con conexión vía modem en la red Fija, Wi-Fi, celular y BAM (Banda Ancha Móvil) aumentan la necesidad de convergencia de redes para minimizar costos al usuario final. "Internet es un conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas que utilizan los protocolos TCP/IP, lo cual garantiza que las redes físicas heterogéneas que la componen funcionen como una red lógica única de alcance mundial" [6].

Las posibilidades de tendido de fibra o cobre, acceso inalámbrico WI-FI (o *WiFi Offloading*) y capacidad de BA para brindar servicios de voz, datos e imágenes se han vuelto más estables por la disminución de precios en equipos siendo más fáciles de implantar. Similarmente ocurre con las redes de nueva generación basadas en tecnologías IP que se integran a las redes LAN (*Local Área Network*) o WAN (*Wide Área Network*) que sirven para necesidades tanto para redes privadas o redes públicas.

Son muchas las opciones que los avances tecnológicos y estándares ofrecen para el entorno de comunicaciones de BA, pudiéndose plantear muchas posibilidades en sus aplicaciones, por lo cual es necesario delimitar el contexto a analizar y por esta razón solo se describe los estándares y tecnologías relacionados con las alternativas propuestas.

Similarmente bajo la óptica de una infraestructura y plataforma de nueva generación, de todas las arquitecturas y servicios existentes se han considerado las que producen un impacto directo y relevante en las redes de BA, en las que el modelo a proponer está involucrado y que es conveniente aclarar criterios a fin de que no se presten a confusión.

Con estos criterios se han seleccionado un conjunto de tecnologías, estándares fundamentales, servicios y arquitecturas de redes de BA más relevantes que se describen en las secciones sub siguientes, en la TABLA 2.1 se presentan las tecnologías y servicios básicos de la red mencionados.

TECNOLOGÍAS FUNDAMENTALES RELEVANTES DE BA	SERVICIOS Y ARQUITECTURAS DE REDES BA
• Jerarquía Digital Síncrona (JDS) – SDH. • Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). • Tecnología Ethernet. • Tecnología MPLS (*Multiprotocol Label Switching*). • Línea de abonado digital xDSL: como plataforma servicios 3 Play (Voz, Datos, Internet y Vídeo Digital). • Tecnología de acceso inalámbrico WI-FI.	• Aplicaciones en tiempo real, sobre Internet y Redes IP/MPLS; p.e.: Multimedia. • Telefonía sobre Redes IP. • Interoperabilidad Redes IP y RTC/RTB. • Nuevos Servicios y exigencias de aplicaciones.

TABLA 2.1 TECNOLOGÍAS BÁSICAS DE LA RED
(Fuente: Elaboración propia)

2.2 Marco teórico

Se destacan las tecnologías fundamentales que se intervienen en el presente estudio.

2.2.1 Tecnología SDH

Como antecedente recordamos que el PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) o JDP (Jerarquía Digital Plesiócrona), tecnología *legacy*, fue la primera tecnología de transmisión digital y abarca los niveles más bajos de capacidad para transportar señales digitales (en velocidades de 64 kbit/s a 140 Mbit/s), en saltos sucesivos a través de una serie de pasos intermedios (2, 8, 34 y 140 Mbit/s).

El objetivo básico es permitir el transporte del mayor número de canales, o capacidad, sobre una única línea (un par de fibras ópticas, un cable coaxial, o un radioenlace), mediante un proceso de agregación (multiplexación) de tramas en el dominio del tiempo tal como se muestra en la FIGURA 2.1

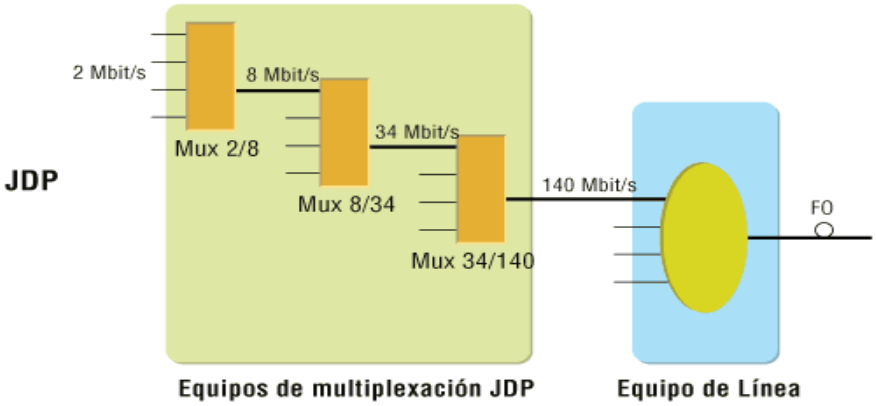


FIGURA 2.1 ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACIÓN DE LA JDP – PDH
(Fuente: Elaboración propia)

El PDH o JDP tiene varias limitaciones, lo que dio origen al desarrollo del nuevo estándar SDH *(Synchronous Digital Hierarchy*) o JDS (Jerarquía Digital Síncrona), que incorpora las siguientes ventajas:

- Mayores capacidades agregadas: Existen varias velocidades de transmisión síncrona, mediante diferentes MTS (Módulos de Transporte Síncrono): STM-1 (155 Mbit/s), STM-4 (622 Mbit/s), STM-16 (2,5 Gbit/s) y STM-64 (10 Gbit/s) [2].
- Flexibilidad: En la JDP la agregación de un canal o su extracción debe hacerse pasando por todos los pasos sucesivos de agregación/desagregación, a través de una cadena de equipos de multiplexación. En la JDS se realiza en un mismo equipo, de forma directa (FIGURA 2.2), preparando la red para el transporte de otras tecnologías: ATM (*Asynchronous Transfer Mode* - Modo de Transferencia Asíncrono), Ethernet e IP.
- Capacidad de gestión: La JDS incorpora dentro de la propia señal una cantidad de información que permite una gestión más eficaz de la red y la operación de la misma tanto a distancia como de manera centralizada.
- Flexibilidad de las estructuras de red: La JDP solo permite configurar enlaces directos entre pares de puntos (enlaces punto a punto). Para la constitución de redes muy complejas implica el manejo de una malla enorme difícil de gestionar y de optimizar su llenado de formato.

- La JDS permite otras configuraciones que facilitan la constitución de redes de forma más flexible y económica.
- Protección: La JDS aporta facilidades adicionales de protección de los circuitos que transporta, resultando mucho más eficiente en la utilización de los medios disponibles en la red.

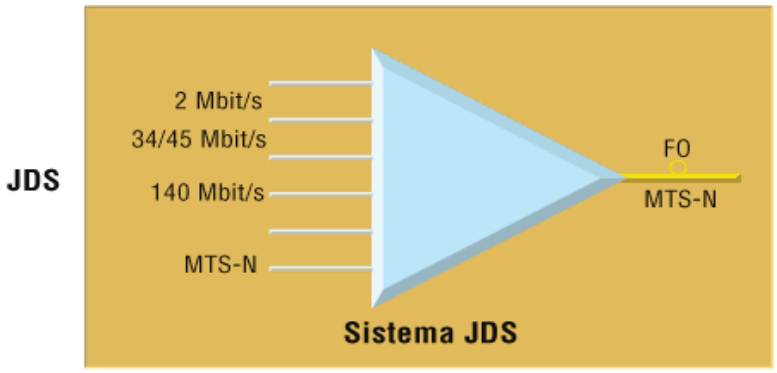


FIGURA 2.2 EXTRACCIÓN - INSERCIÓN DE SEÑALES JDS - SDH
(Fuente: Elaboración propia)

Las facilidades de gestión inherentes a la JDS hacen posible la definición de una arquitectura de gestión centralizada de todos los recursos den la JDS, que posibilita, además, la coexistencia de subredes de diferentes suministradores, se identifican dos niveles de gestión:

- Gestión de red: Proporciona las funciones para la gestión de la red en su conjunto y permite la gestión de los trayectos extremo a extremo, sobre redes *multivendor.* La interconexión de este nivel con el nivel inferior de subred de cada suministrador, se lleva a cabo en base a la interfaz de gestión Qnn (*Q interface network network*, interfaz Q de nivel de red).
- Gestión de subred: Proporciona las funciones para la gestión de la red de un único suministrador. El sistema de gestión de subred proporciona las funciones de gestión de fallas, configuración, provisión, medidas de calidad y seguridad para esa subred.

2.2.2 Tecnología ATM

El modo ATM (Modo de Transferencia Asíncrono- *Asynchronous Transfer Mode*) es una tecnología de conmutación y multiplexación basada en celdas (paquetes de longitud fija) diseñada como modo de transferencia orientado a la conexión de propósito general, esto es válido para un amplio conjunto de servicios. Puede soportar por tanto todo tipo de tráfico (voz, vídeo, IP, etc.), orientado a conexión y sin conexión, para lo que puede

realizar el transporte de la información del usuario, en forma directa o mediante el uso de niveles de adaptación intermedios (entre el nivel ATM y el usuario). Este amplio espectro le permite ser de utilidad como tecnología básica tanto en la red pública como en las redes privadas.

Como tecnología básica el ATM puede dar soporte a un amplio conjunto de servicios y puede implementarse sobre diversos medios de transmisión (JDP, JDS, DWDM, radio, xDSL/cobre). Las características anteriores conforman un grado de flexibilidad que redunda en ventajas tanto para el usuario como para el proveedor de servicios.

Para el usuario porque le permite contratar unas capacidades de red y de servicio con calidades variables y adaptables a sus necesidades, y para el proveedor porque le facilita la gestión y optimización en el uso de sus recursos de red y le permite mediante una única red ofrecer servicios que antes ofrecía mediante redes separadas, con los correspondientes ahorros en costos de inversión y operación, en la FIGURA 2.3 se muestra la base de funcionamiento de la tecnología ATM.

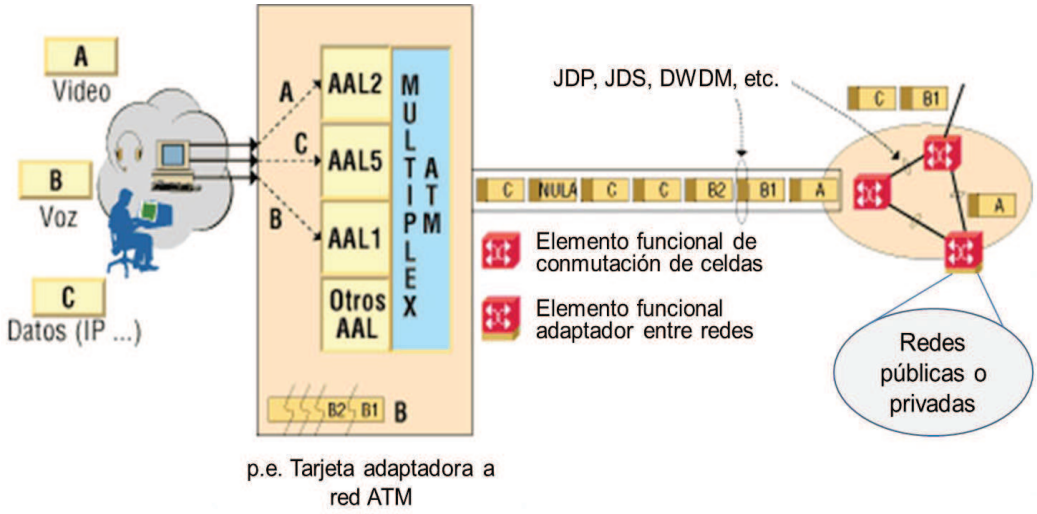


FIGURA 2.3 FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA ATM
(Fuente: ATM *Forum*)

El tráfico, sean cuales sean sus características y su origen (usuarios finales o redes existentes) puede ser transportado de una manera eficiente y por una misma red, con el simple empaquetado de las unidades de datos específicas de cada servicio, en paquetes pequeños de longitud fija o celdas. Estos paquetes podrán ser multiplexados/distribuidos (*cross-connect*) y/o conmutados en distintos elementos de acceso y de tránsito de la red ATM. Como cada uno de los servicios tiene unas características particulares, sus

unidades de datos deberán ser adaptadas a la entrada de la red ATM (mediante el uso de capas de adaptación AAL (*ATM Adaptation Layer)* de diversos tipos (AAL1, AAL2, AAL3/4 y AAL5), en donde los datos son procesadas en base a la información que poseen las cabeceras de las celdas según el tipo de servicio.

En base a esta información la red ATM lleva a cabo un conjunto de funciones: encaminamiento, control de tráfico, control de la congestión, señalización, conmutación, control de admisión, etc., encaminadas a transportar lo más eficientemente posible el tráfico generado por el usuario, pero siempre respetando el contrato de tráfico negociado entre usuario y red (bien por suscripción o bien por señalización), y con el objetivo esencial de aprovechar al máximo los recursos de la red en cada momento, pudiéndose conseguir con los mecanismos ATM apropiados (capacidades de transferencia, mecanismos de prioridad, etc.) ganancia estadística en la compartición de recursos.

En relación a los servicios, como ya se ha mencionado sobre las características generales de la tecnología, las redes ATM se caracterizan por ser multiservicio, esto significa que la misma red que implementará todas las capacidades ATM necesarias, adicionalmente es capaz de transportar tráfico generado por otras redes no ATM (privadas o públicas).

Las redes privadas existentes (LAN, redes IP, etc.) podrán conectarse a una red ATM publica o bien mantendrán el equipamiento actual y añadirán elementos frontera de adaptación a la red ATM pública; las redes públicas (RTC/RDSI, redes móviles, redes de datos actuales, redes IP públicas, etc.) utilizarán elementos frontera de adaptación o UI (Unidades de Interfuncionamiento - p.e.: "*trunking* ATM").

Considerando todas las posibilidades descritas y los elementos de adaptación que la red pública pueda disponer, los servicios que la red ATM puede ofrecer son:

- Servicios nativos ATM: “PVC (*Permanent Virtual Circuit* - Circuito Virtual Permanente), o servicios semipermanentes y SVC (*Switched Virtual Circuit* - Circuito Virtual Conmutado) o servicios conmutados” [11].
- Servicios de adaptación: “Emulación de circuitos (interconexión de centralitas o *trunking* ATM en redes públicas), retransmisión de tramas (*Frame Relay*, FR) sobre ATM e IP sobre ATM” [1].

En cuanto al nivel óptico de soporte (ver FIGURA 2.4), la capa óptica en la red de transporte está constituida por los enlaces punto a punto, anillos mixtos JDS o SDH, JDP o PDH y DWDM (Amplificadores Ópticos de Línea -AOL-, Terminales Multiplexores Ópticos –TMO, extractores/insertores ópticos rígidos), equipos conversores de longitudes de onda que permitan reconfiguraciones flexibles (distribuidores /multiplexores ópticos y extractores/insertores ópticos flexibles) y su sistema de gestión correspondiente.

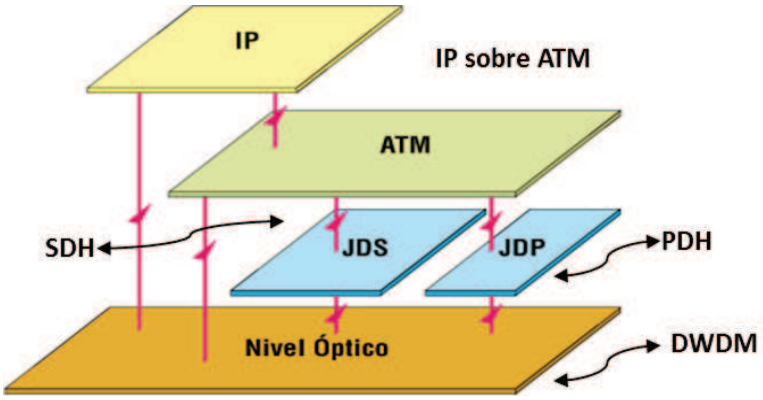


FIGURA 2.4 LA CAPA ÓPTICA DWDM EN EL TRANSPORTE
(Fuente: Elaboración propia)

2.2.3 Tecnología Metro Ethernet

La red ME (Metro Ethernet) es una arquitectura que brinda servicios de conectividad MAN /WAN de nivel 2, a través de interfaces UNI (*User Network Interface*) ethernet. Estas redes denominadas multiservicios soportan una amplia gama de servicios, aplicaciones, contando con mecanismos de soporte para minimizar factores que contribuyen a bajar el QoS en los tráficos sensibles en "tiempo real" RTP como son los casos de telefonía IP, VoIP y video IP que son sensibles al retardo, "definiéndose como QoS a la habilidad para priorizar diferentes tipos de tráfico y proveer diferentes niveles de servicio" [2].

Las redes ME, están soportadas principalmente por medios de transmisión guiados, como son el cobre y la fibra óptica, existiendo también soluciones de radio licenciada, los caudales proporcionados son de 10 Mbps, 20 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps y desde el 2010 disponible 100 Gbps la expectativa es que para el 2015 se alcance la velocidad de 1 Tb/s, luego 4 y 10 Tb/s [8], para algunos casos específicos de tecnología "*Legacy"* comúnmente se hace emulación de 34Mbps (norma ITU-T G.803).

La utilización de las líneas de cobre garantiza el despliegue de un punto de red Ethernet en cualquier punto del casco urbano. La fibra óptica y el cobre se complementan en el ámbito metropolitano ofreciendo cobertura total a cualquier servicio a desplegar.

Una topología general se muestra en la FIGURA 2.5 donde se aprecia la conformación de los anillos ME mediante los SWD (Switches de Distribución) y SWC (Switches de Concentración).

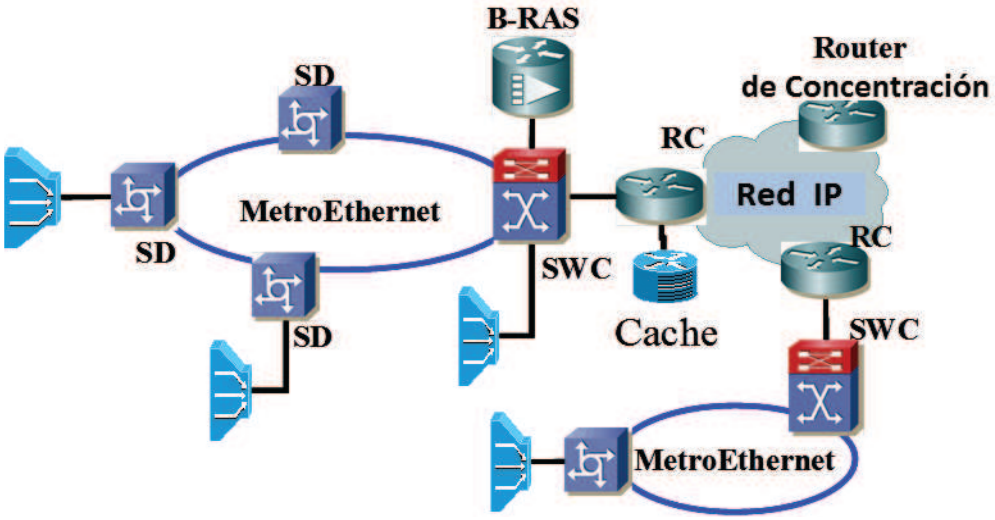


FIGURA 2.5 TOPOLOGÍA DE RED METRO ETHERNET
(Fuente: Elaboración propia)

Los beneficios (ver ANEXO C) que la red ME ofrece son:

- Presencia y capilaridad prácticamente "universal" en el ámbito metropolitano, en especial gracias a la disponibilidad de las líneas de cobre con cobertura universal en el ámbito del urbano.
- Muy alta fiabilidad ya que los enlaces de cobre certificados para Metro Ethernet, están constituidos por múltiples pares de líneas de cobre y los enlaces de fibra óptica se configuran con STP (*Spanning Tree Protocol)* activo-pasivo, RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*) o MSTP (*Multiple Spanning Tree Protocol*).
- Fácil uso: Interconectando con ethernet se simplifica las operaciones de red, administración, manejo y actualización.
- Economía: los servicios ethernet reducen el capital de suscripción y operación de tres formas:
  - Amplio uso: se emplean interfaces ethernet que son la más difundidas para las soluciones de *Networking*.

  - Bajo costo: Los servicios ethernet ofrecen un bajo costo en la administración, operación y funcionamiento de la red.
  - Ancho de banda: Los servicios ethernet permiten a los usuarios acceder a conexiones de BA a menor costo.
- Flexibilidad: Las redes de conectividad mediante ethernet permiten modificar y manipular de una manera más dinámica, versátil y eficiente, el ancho de banda y la cantidad de usuarios en corto tiempo.
- El modelo básico de los servicios ME está compuesto por una red conmutada MEN (*Metro Ethernet Network*), ofrecida por el proveedor de servicios; los usuarios acceden a la red mediante CEs (*Customer Equipment*), CE puede ser un router; Bridge 802.1Q (*switch*) que se conectan a través de UNIs (*User Network Interface*) a velocidades de: "10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps, 100 y Gbps" [8].
- Los organismos de estandarización (IEEE, IETF, ITU) y los acuerdos entre fabricantes, están jugando un papel determinante en su evolución, para lo cual se ha creado el MEF (*Metro Ethernet Forum*), organismo dedicado únicamente a definir Ethernet como servicio metropolitano.

Se ha desarrollado también el concepto de EVC (*Ethernet Virtual Connection*), donde una EVC es la asociación entre una o más interfaces UNIs, funciona como un "tubo virtual" que proporciona al usuario servicios "extremo a extremo" atravesando múltiples redes MEN, un EVC tiene dos funciones:

- Conectar dos o más sitios (UNIs) habilitando la transferencia de tramas ethernet entre ellos.
- Impedir la transferencia de datos entre usuarios que no son parte del mismo EVC, permitiendo privacidad y seguridad.

Los atributos de los servicio ME se definen como las capacidades de los diferentes tipos de servicio. Algunos atributos aplican a los puntos de acceso UNI, mientras que otros a los canales virtuales EVC. Un EVC puede ser usado para construir una VPN de nivel 2.

El MEF ha definido dos tipos de EVC que son el punto a punto (E-Line) y el multipunto a multipunto (E-LAN), en la FIGURA 2.6 se muestra un esquema multipunto a multipunto de EVC.

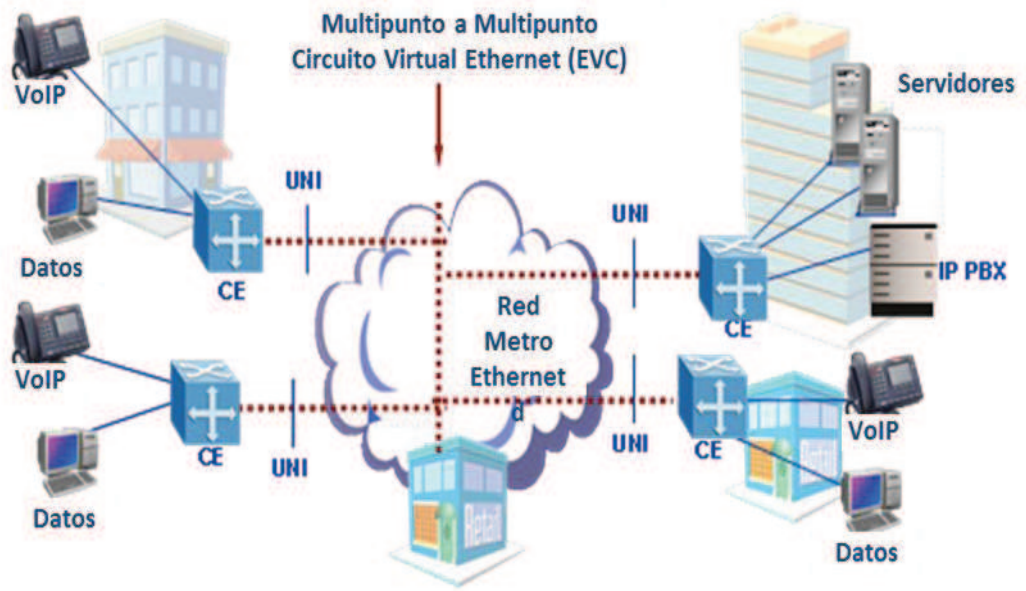


FIGURA 2.6 TOPOLOGÍA CIRCUITOS VIRTUALES ETHERNET MULTIPUNTO
(Fuente: Gigabit Ethernet Alliance)

Para los puntos de acceso UNI aplican los siguientes atributos:

- Medio físico: son los especificados en el estándar 802.3. Ejemplos de medios físicos: 10Base-T, 100Base-T, 1000 Base-SX.
- Velocidad: las velocidades son las especificadas en el estándar Ethernet son las características de la "negociación ethernet", siendo los valores más comerciales: 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps y 10Gbps.
- Modo: un enlace puede soportar *full dúplex, half dúplex* o auto negociación.
- Capa MAC: las especificadas en IEEE 802.3.

Para las características del ancho de banda de la ME se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- CIR (*Committed Information Rate*): es la cantidad promedio de información que se ha transmitido teniendo en cuenta los retardos, pérdidas, etc.
- CBS (*Committed Burst Size*): es el tamaño de la información utilizado para obtener el CIR respectivo.
- EIR (*Excess Information Rate*): especifica la cantidad de información mayor o igual que el CIR, hasta el cual las tramas son transmitidas sin pérdidas.
- EBS (*Excess Burst Size*): es el tamaño de información que se necesita para obtener el EIR determinado.

2.2.4 Tecnología MPLS

"El MPLS ((*Multiprotocol Label Switching*) usa una técnica por la que se definen los procedimientos y protocolos utilizados para asignar etiquetas a un flujo de paquetes y para distribuir dicha información entre todos los nodos de una red MPLS" [7]. El MPLS es un protocolo estandarizado que se basa en parte en la técnica de *"Tag Switching"* de Cisco.

Una red MPLS consiste en un núcleo de *routers* que soportan MPLS, a los que se denomina LSR (*Label Switching Routers* - Router para Conmutación por Etiquetas). El mecanismo de funcionamiento es similar al de *Tag Switching*: cuando un paquete llega a un nodo o LSR se clasifica de forma que todos los paquetes pertenecientes a la misma clase son enviados por el mismo camino y de la misma forma a su destino. El criterio utilizado para clasificar los paquetes se basa en la información de la cabecera (dirección destino, fuente, aplicación, etc.).

Posteriormente, a cada clase se le asigna una etiqueta. En cada nodo intermedio, las decisiones de envío se toman sobre la base de esa etiqueta, sin que sea necesario volver a analizar la cabecera del paquete. En el nodo de salida de la red MPLS, la etiqueta es eliminada y los paquetes son encaminados en función de la información normal de la cabecera. Una representación de esta arquitectura se muestra en la FIGURA 2.7.

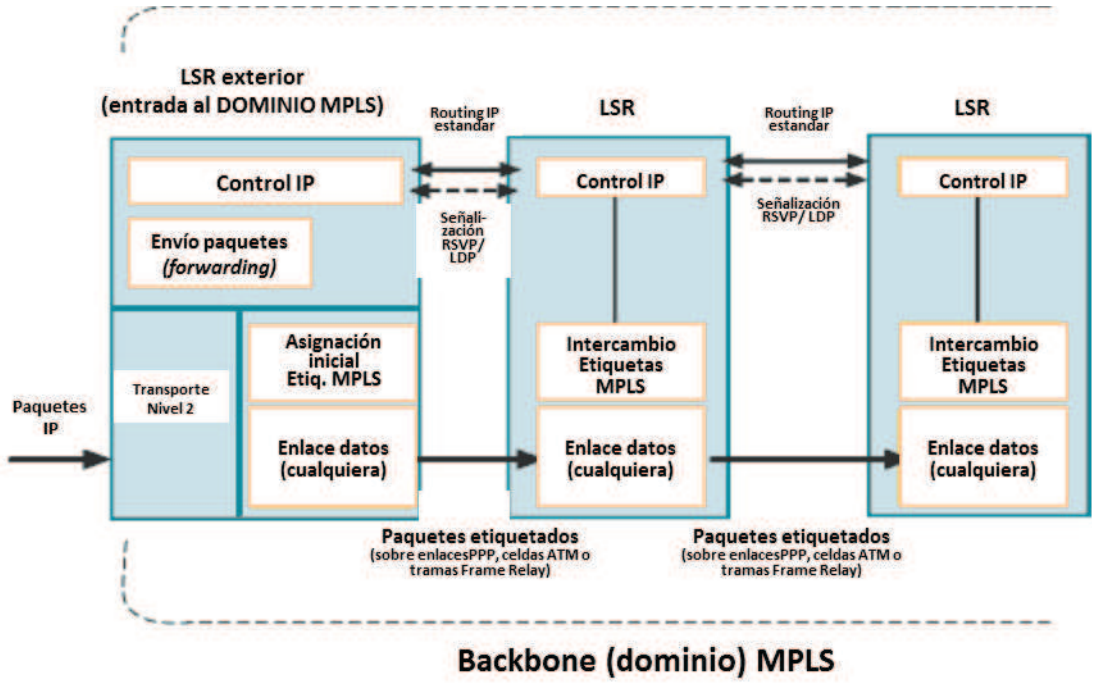


FIGURA 2.7 TOPOLOGÍA CIRCUITOS VIRTUALES MPLS
(Fuente: MPLS *Forum*)

“La base del MPLS está en la asignación e intercambio de etiquetas expuesta, que permiten el establecimiento de los caminos LSP por la red, los LSPs son *simplex* por naturaleza ya que se establecen para un sentido del tráfico en cada punto de entrada a la red, el tráfico *dúplex* requiere dos LSPs, uno en cada sentido” [7]. Cada LSP se crea a base de concatenar uno o más *hop*s (saltos) en los que se intercambian las etiquetas, de modo que cada paquete se envía de un "conmutador de etiquetas" LSR (*Label Switching Router*) a otro, a través del dominio MPLS. Un LSR no es sino un router especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS.

Al igual que en las soluciones de conmutación multinivel, MPLS separa las dos componentes funcionales de control (*routing*) y de envío (*forwarding*), del mismo modo el envío se implementa mediante el intercambio de etiquetas en los LSPs; sin embargo, MPLS no utiliza ninguno de los protocolos de señalización ni de encaminamiento definidos por el ATM *Forum*; en lugar de ello, en MPLS o bien se utiliza el protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*) o bien el LDP (*Label Distribution Protocol);* de acuerdo con los requisitos del IETF (*Internet Engineering Task Force*), pudiendo ser el transporte de datos sobre otro protocolo.

Una red IP habilitada para MPLS es mucho más sencilla de gestionar que la solución clásica IP/ATM. Ya no hay que administrar dos arquitecturas diferentes a base de transformar las direcciones IP y las tablas de encaminamiento en las direcciones y el encaminamiento ATM: esto se resuelve con el intercambio de etiquetas MPLS. Un camino LSP es el circuito virtual que siguen por la red todos los paquetes asignados a la misma FEC (*Forwarding Equivalence Class*).

Al primer LSR que interviene en un LSP se le denomina de entrada o de cabecera y al último se le denomina de salida o de cola. Los dos están en el exterior del dominio MPLS, el resto entre ambos son LSRs interiores del dominio MPLS. En resumen un LSR es como un router que funciona a base de intercambiar etiquetas según una tabla de envío.

A manera de ilustración en la TABLA 2.2 se muestra un ejemplo de intercambio de etiquetas a partir de la información de encaminamiento que proporciona la componente de control. Cada entrada de la tabla contiene un par de etiquetas entrada/salida correspondientes a cada interfaz de entrada, que se utilizan por cada paquete que llega por ese interfaz y con la misma etiqueta.

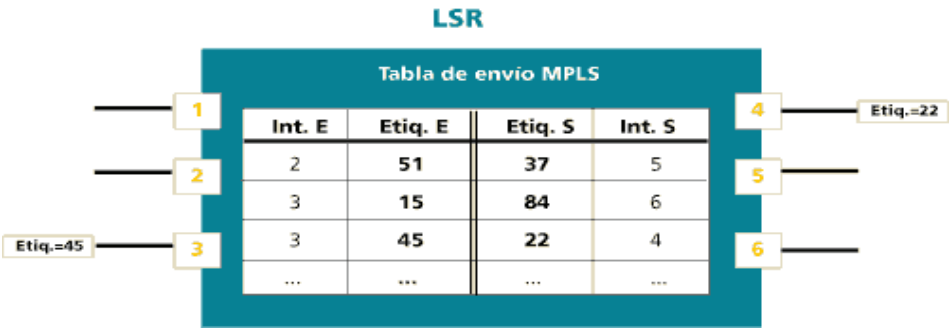


TABLA 2.2 EJEMPLO TABLA DE CONMUTACIÓN MPLS
(Fuente: MPLS *Forum*)

A un paquete que llega al LSR por el interfaz 3 de entrada con la etiqueta 45 el LSR le asigna la etiqueta 22 y lo envía por el interfaz 4 de salida al siguiente LSR, de acuerdo con la información de la TABLA 2.2. Asimismo, este LSR le asigna una etiqueta y envía el paquete al siguiente LSR del LSP. "Dentro del dominio MPLS los LSR ignoran la cabecera IP; solamente analizan la etiqueta de entrada, consultan la tabla correspondiente (tabla de conmutación de etiquetas) y la reemplazan por otra nueva, de acuerdo con el algoritmo de intercambio de etiquetas" [7], en la FIGURA 2.8 se muestra el encaminamiento para la conmutación de etiquetas MPLS.

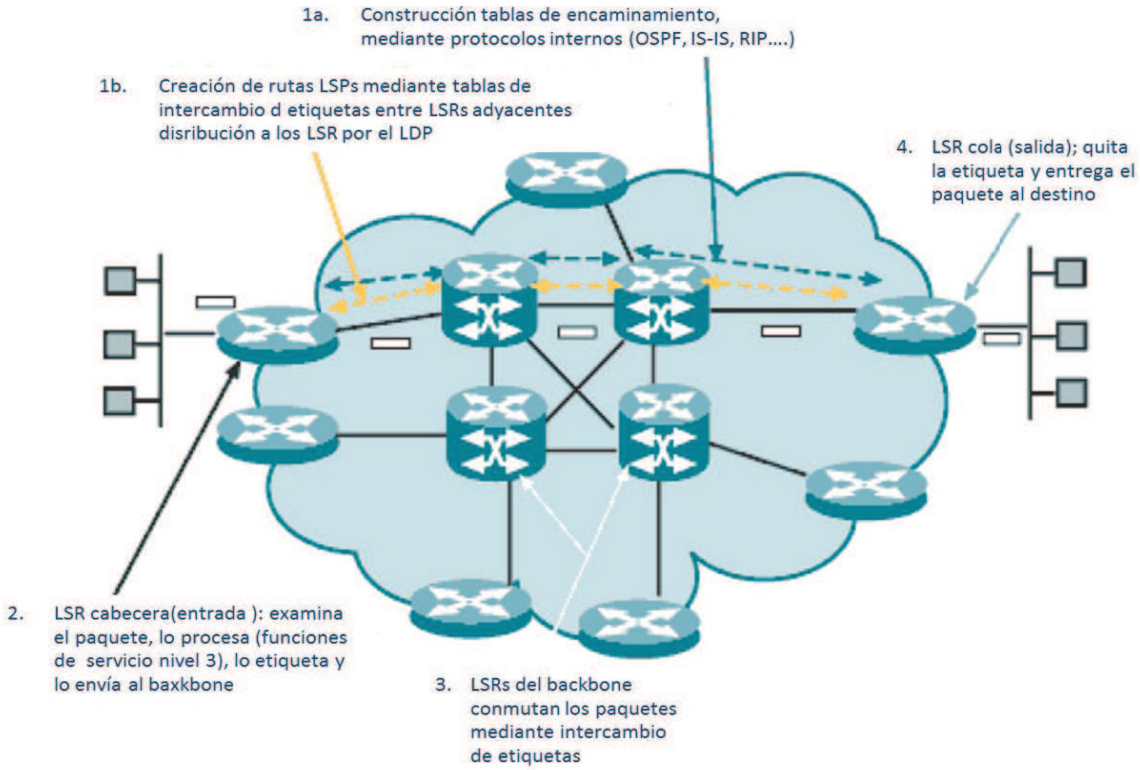


FIGURA 2.8 ESQUEMA DE CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS MPLS
(Fuente: MPLS *Forum*)

Al llegar el paquete al LSR de cola (salida), ve que el siguiente salto lo saca de la red MPLS; al consultar ahora la tabla de conmutación de etiquetas quita ésta y envía el paquete por *routing* convencional.

2.2.5 Tecnología xDSL

Las tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line family)* familia de equipos para línea de abonado digital, FIGURA 2.9), como plataforma multiservicios (voz, Internet y vídeo digital) utilizan técnicas avanzadas de transmisión digital que incrementan, en algunos casos muy considerablemente, la capacidad de transporte del par de cobre.

Desde un punto de vista estratégico, disponer de capacidad de BA en el acceso posiciona muy favorablemente a cualquier operador frente a sus competidores ya que permitirá potenciar los nuevos servicios multimedia cuando los servicios de telefonía convencionales se aproximan al estancamiento o incluso al retroceso como consecuencia de la liberalización del sector. Esas son las la razones fundamentales por la que las tecnologías xDSL se vislumbran muy prometedoras.

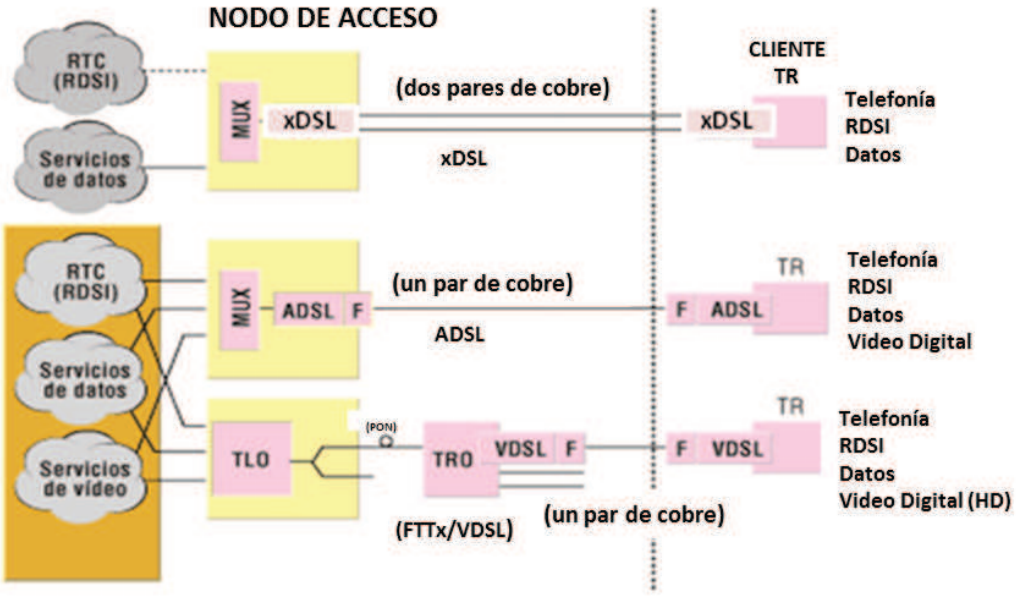


FIGURA 2.9 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DSL
(Fuente: ADSL *Forum*)

El despliegue de tecnologías xDSL comenzó con los sistemas simétricos HDSL (*High bit rate Digital Subscriber Line* - Línea de Abonado Digital de Alta velocidad binaria), que surgieron para proporcionar de forma sencilla enlaces E1 (enlace digital de 2 Mbit/s a nivel de red) sobre pares de cobre, luego se han desarrollado los sistemas SDSL

(*Symmetrical -single pair- Digital Subscriber Line*, Líneas de Abonado Digital Simétricas sobre un solo par) y G.SHDSL (*Symmetrical –High Speed - Digital Subscriber Line - Standard G 991.2)* que se pueden considerar como la evolución del SDSL que proporcionan enlaces entre 192 Kbps y 2.3 Mbps simétrico con un solo par de cobre de hasta 2.5 km (ver ANEXO D).

Estas aplicaciones, de naturaleza simétrica, son muy adecuadas para las grandes y medianas empresas. Sin embargo en el sector residencial y de pequeña empresa, los flujos de información se ajustan mejor a un esquema xDSL asimétrico de transferencia en el que la información recibida por el cliente es muy superior a la que éste envía, con mayor ancho de banda en sentido descendente (central-usuario) que ascendente (usuario-central).

Es así que se desarrollaron los sistemas asimétricos ADSL y posteriormente los VDSL (*Very high bit rate Digital Subscriber Line* - Línea de Abonado Digital de muy Alta velocidad binaria), ver TABLA 2.3.

Tecnología	Capacidad Máxima		Alcance Máximo (1)	Servicios / Aplicaciones
	Descendente	Ascendente		
HDSL	2 Mbps(PRI)	2 Mbps(PRI)	3 km	Enlaces PRI, puede ser simétrico. Circuitos dedicados, interconexión de LAN, conexión estación base a red fija, etc.
ADSL	8 Mbps	640 Kbps	2 km	Servicios de datos (acceso a Internet, LAN, teletrabajo, etc.) y servicios de audio/vídeo digital.
ADSL 2+	24 Mbps	2 Mbps	3 km	Idem ADSL.
VDSL	52 Mbps	6,5 Mbps	300 m	Ídem ADSL y servicios multimedia interactivos (SDVB, NVoD, VoD). Varias sesiones simultáneas.

NOTA (1): Longitud máxima del par de cobre para garantizar la velocidad indicada.

TABLA 2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS xDSL
(Fuente: Elaboración propia)

Estos sistemas con capacidad descendente de hasta 8 Mbit/s en el caso del ADSL y 52 Mbit/s en el VDSL junto con la QoS que brinde la red de BA convierte a la red de acceso en una plataforma multiservicio para soporte simultáneo de telefonía, datos y servicios de entretenimiento, basados en audio y vídeo comprimido por el mismo par de cobre.

Este importante aumento de capacidad va asociado a ciertos condicionantes en cuanto a longitud y características del par de cobre, en este sentido en los sistemas VDSL se puede alcanzar hasta 300 mts. (ver ANEXO D) compitiendo con la fibra óptica que se acerca al cliente en topologías FTTx (*Fibre To The near the customer* - Fibra hasta el Cliente). Una de las ventajas de estas tecnologías radica en la posibilidad de evolución progresiva en el despliegue a nivel de fibra a medida que la demanda por parte de los clientes de nuevos servicios y por tanto de velocidad vaya incrementándose.

En el domicilio del cliente, el equipamiento típico de los sistemas xDSL está constituido básicamente por un filtro F para separar los servicios de BE (telefonía y RDSI) para el caso de los sistemas ADSL o VDSL y una TR (Terminación de Red), que incluye el módem xDSL de usuario y las correspondientes interfaces normalizadas.

En el nodo de acceso se localizan los módems de central (uno por cada par de cobre) y los multiplexores que concentran las señales de varios usuarios y las dirigen a la red de transporte Metro Ethernet. En el caso de los sistemas VDSL los módems de central se localizan en nodos remotos (TRO - Terminación de Red Óptica), en los que se concentra el tráfico de varios usuarios y se envía hacia el nodo de acceso por fibra óptica mediante conexiones punto a punto o punto-multipunto (PON - *Passive Optical Network* - red óptica pasiva).

Dentro de la familia xDSL cabe mencionar las tecnologías de línea de abonado digital ADSL2 y ADSL2^{+}, que son evoluciones del ADSL que están preparadas para ofrecer tasas de transferencia mayores que las proporcionadas por el ADSL, haciendo uso de la misma infraestructura telefónica basada en cables de cobre (ver ANEXO D).

Con ADSL tenemos tasas máximas de bajada/subida de 8/1 Mbps, con ADSL2 se consigue 12/2 Mbps y con ADSL2^{+} 24/2 Mbps. Además de la mejora del ancho de banda este estándar contempla implementaciones que mejoran la supervisión de la conexión y el QoS de los servicios demandados a través de la línea.

La migración de ADSL a ADSL2 sólo requiere establecer entre la central telefónica y el usuario un terminal especial que permita el nuevo ancho de banda, lo que no supone un enorme gasto por parte de los proveedores de servicio. ADSL2 está totalmente preparado para reemplazar al ADSL convencional a corto plazo.

ADSL2^{+} es una evolución del sistema ADSL2 que se basa en un aumento del espectro de frecuencia. La principal diferencia es que duplica el ancho de banda utilizado de 1.1 a 2.2 Mhz lo que le permite alcanzar una velocidad teórica de 25 Mbps. El ruido afecta de manera más visible a ADSL2^{+} al utilizar la parte más alta del espectro y sólo supone una mejora en el ancho de banda hasta los 3 km. A partir de ahí las diferencias con ADSL o ADSL2 son mínimas. A diferencia de la migración a ADSL2, ADSL2^{+} requiere pequeños cambios en la estructura de la red.

2.2.6 Tecnología WLAN/Wi-Fi

"WLAN es un sistema de comunicación de datos inalámbrico basado en la norma IEEE 802.11 utilizado como alternativa a la LAN cableada o como una extensión de ésta, utiliza tecnología de radiofrecuencia que permite movilidad a los usuarios al minimizarse las conexiones cableadas, permitiendo transmitir la información en tiempo real a una central terminal" [5]. También son usadas en los hogares como *"Access Point o Hotspot"* puntos de acceso para compartir entre varias computadoras la entrada a *Internet*.

"Wi-Fi es el mecanismo de conexión de cualquier dispositivo electrónico de forma inalámbrica, que puede considerarse como una tecnología para conectarse a *Internet* a través de una red "sin cables" de área local WLAN" [9], siendo así es importante tener en cuenta los estándares establecidos para las redes inalámbricas de acceso por lo que se ha creado una organización comercial denominada Wi-Fi que adopta, prueba y certifica los equipos que cumplen con las normas 802.11.

Con la norma IEEE 802.11b se ha certificado la interoperabilidad de equipos bajo la marca Wi-Fi. La norma IEEE 802.11 fue diseñada para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma 802.3 (*Ethernet*). Esto quiere decir que en lo único que se diferencia una red WLAN/Wi-Fi de una red ethernet es en cómo se transmiten las tramas o paquetes de datos; el resto es idéntico. Por tanto, una red local inalámbrica 802.11 es completamente compatible con todos los servicios de las redes locales LAN de cable 802.3. Existen diversos tipos de WLAN basados en los estándares Wi-Fi entre las que tenemos los siguientes:

- Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n disfrutan de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad desde 11 Mbps, 54 Mbps, 300 Mbps y actualmente 450 Mbps [5].

- Se maneja también el estándar IEEE 802.11a, conocido como WI-FI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y no existen otras tecnologías (microondas, *Bluetooth, ZigBee*, WUSB) que la estén utilizando por lo tanto existen muy pocas interferencias. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2.4 GHz (aproximadamente un 10%), debido a que la frecuencia es mayor (a mayor frecuencia, menor alcance).
- Se maneja también el estándar IEEE 802.11n que trabaja a 2.4 GHz y el estándar 802.11g alcanza velocidades de transferencias hasta 108 Mbps mediante técnicas de aceleramiento.

Es relevante el adecuado dimensionamiento en las redes inalámbricas bajo las normas Wi-Fi a fin de evitar la progresiva saturación del espectro radioeléctrico debido a la masificación de usuarios. Wi-Fi está diseñado para conectar equipos a la red a distancias reducidas en un promedio de 100 mts., el uso a mayor distancia está expuesto a interferencias hasta la pérdida de conectividad.

En cuanto al aspecto de seguridad es muy importante proteger la información que por ellas circulan evitando convertirla en una red abierta que pueda ser vulnerable a "*crackers*" y a otro tipo de ataques externos, para esto existen varias alternativas para garantizar la seguridad de las redes WLAN siendo las más comunes la utilización de protocolos de cifrado de datos para los estándares Wi-Fi como el WEP (*Wired Equivalent Privacy*), el WPA (*Wi-Fi Protectec Access*) , o el WPA2 que se encargan de codificar la información transmitida para proteger su confidencialidad, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos. Las formas más relevantes son las siguientes:

- WEP cifra los datos en su red de forma que sólo el destinatario deseado pueda acceder a ellos, utiliza cifrados de 64 y 128 bits como niveles de seguridad y codifica los datos mediante una clave de cifrado antes de trasmitir, "este tipo de cifrado no está muy recomendado debido a las grandes vulnerabilidades que presenta ya que cualquier *cracker* puede conseguir sacar la clave" [10].
- WPA: presenta mejoras como generación dinámica de la clave de acceso, las claves se insertan como de dígitos alfanuméricos, sin restricción de longitud.
- IP*Sec* (*túneles IP*) para el caso de las VPN que forma parte del conjunto de estándares IEEE 802.1X, que permite la autenticación y autorización de usuarios.
- Ocultación del punto de acceso: se puede ocultar el punto de acceso (AP) de manera que sea invisible a otros usuarios.

- Filtrado de MAC, de manera que sólo se permite acceso a la red a aquellos dispositivos autorizados, es lo más recomendable si solo se va a usar con los mismos equipos y si son pocos.
- ‘’El protocolo de seguridad llamado WPA2 (estándar 802.11i) es una mejora del WPA y por ahora es el protocolo de seguridad más seguro para Wi-Fi, sin embargo requieren *hardware* compatible ya que los equipos antiguos no lo soportan” [10].

Las redes WLAN/Wi-Fi poseen ventajas (ver ANEXO E) entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- Al ser redes inalámbricas, la comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio.
- Una vez configuradas, éstas redes permiten el acceso de múltiples computadoras sin ningún problema ni gasto en infraestructura, no así en la tecnología por cable.
- La Wi-Fi *Alliance* asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca Wi-Fi es total, con lo que en cualquier parte del mundo podremos utilizar la tecnología Wi-Fi con una compatibilidad asegurada.

La FIGURA 2.10 muestra el esquema para el acceso de última milla inalámbrico de un TO (en la sección 5.6 se desarrolla el modelo de acceso inalámbrico propuesto).

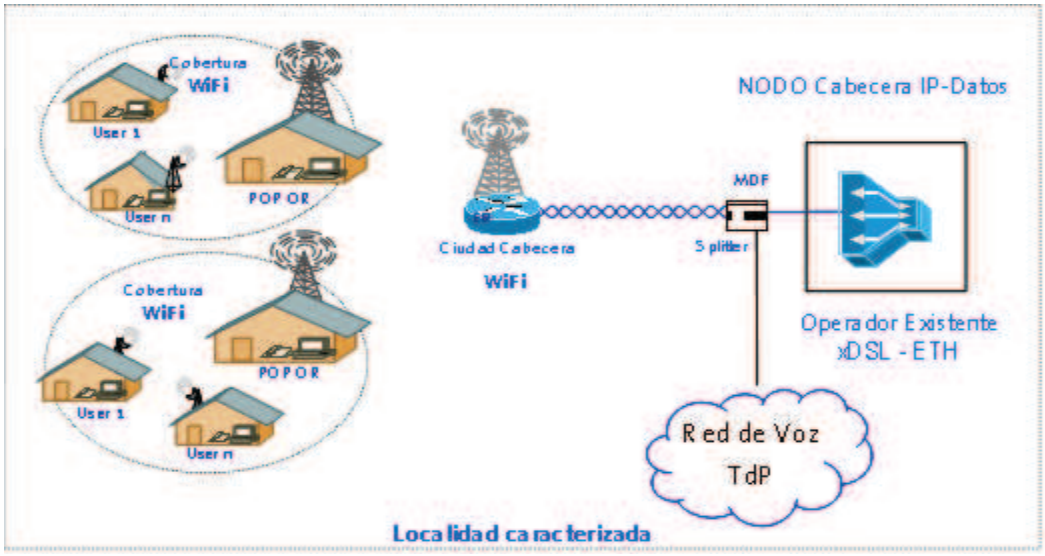


FIGURA 2.10 ARQUITECTURA ACCESO ULTIMA MILLA RED WI-FI
(Fuente: Elaboración propia)

De otro lado como toda tecnología por situaciones intrínsecas, la red inalámbrica WLAN/Wi-Fi también presenta algunas desventajas que se deben evaluar, siendo las principales las siguientes:

- El acceso Wi-Fi tiene menor velocidad comparada con una conexión con cables debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear.
- El acceso WI-FI se consideró inicialmente menos seguro ya que al trabajar en modo promiscuo existen algunos programas que pueden calcular la contraseña de la red y de esta forma acceder a ella y capturar paquetes. Las claves de tipo WEP son relativamente fáciles de conseguir en este sistema, no obstante la alianza Wi-Fi arregló estos problemas sacando el estándar WPA y posteriormente WPA2, basados en el grupo de trabajo 802.11i. Actualmente las redes protegidas con WPA2 se consideran robustas dado que proporcionan muy buena seguridad.
- El tema de seguridad en el acceso se complica si consideramos que es difícil controlar el área de cobertura de una conexión, de manera que un receptor se puede conectar desde fuera de la zona de recepción prevista (p.e.: desde fuera de una oficina, desde una vivienda colindante, etc.).
- La tecnología Wi-Fi no es compatible con otros tipos de conexiones sin cables como Bluetooth, GPRS *(General Packet Radio Service*), UMTS (*Universal Mobile Telecomunications Systems*), etc.

Cabe indicar respecto a la tecnología Wi-Fi que dado que el acceso a Internet se ha disparado en modo exponencial, una congestión en la red celular (2G/GSM, 3G/UMTS ó 4G/LTE) hoy en día es muy común por lo que la industria ha visto la tecnología Wi-Fi como una nueva opción para descongestionar la red celular, razón por la cual los operadores móviles mediante el sistema *"*Wi-Fi *Offloading" (*o Wi-Fi *Offload)* han integrado esta funcionalidad a su red celular en lugares específicos de alto tráfico desplegando *gateways* "Wi-Fi *Offloading".*

Estos *gateways* a diferencia de lo que vienen a ser las "celdas" convencionales de una red celular, no brindan cobertura total de la zona si no solo de los puntos de alto tráfico, validando el acceso del usuario móvil por el método de autenticación AAA similar al que utilizan en la cobertura de la red celular, integrando y volcando de este modo el acceso de "*smarthphones"* vía las redes Wi-Fi que son interconectadas a las redes celulares [9]. A partir de allí sistema de facturación del operador determina las condiciones tarifarias con que le provee este servicio al usuario final. Actualmente TdP tiene desplegados *gateways* WI-FI *Offloading* en Lima.

2.3 Marco conceptual

Por temas conceptuales relacionados a las características de prestaciones de servicios y aplicaciones, se hace diferencia entre servicios de datos comunes y aplicaciones relevantes las cuales las denominamos de mayor exigencia o "*real time*". El concepto de los servicios de tiempo real es definido por la el sector de estandarización de la ITU-T (G.114) que establece que el rango tolerable para la pérdida de paquete es entre el 1% al 3 % del rendimiento del flujo garantizado de transmisión de paquetes por segundo del servicio.

2.3.1 Servicio de multimedia

Las aplicaciones más relevantes son las de tiempo real en las trasmisiones de voz, vídeo y datos críticos transaccionales, que denominamos multimedia, que implica el tratamiento (captura, proceso, comunicación, presentación y/o almacenamiento) de información del tipo "datos continuos" (audio y vídeo), ajustados en una secuencia temporal, y adicionando opcionalmente información de tipo "discreto" (texto y gráficos), sin dependencia temporal. En este contexto la multimedia en tiempo real se refiere a las comunicaciones con requisitos de retraso extremo a extremo muy exigentes.

Por ejemplo a modo de referencia el retraso admisible en una videoconferencia puede llegar a los 500 mts. Se debe tener especial cuidado para el tiempo real en aquellas aplicaciones que incluyen audio, vídeo y datos síncronos, que son procesados y presentados según son recibidos (en tiempo de ejecución), en contraposición a las aplicaciones de proceso diferido o asíncrono *download and play*. "La multimedia sobre redes IP/MPLS implica que las comunicaciones extremo a extremo se establecen exclusivamente sobre la pila de protocolos IP definidos por el IETF" (*Internet Engineering Task Force* - grupo de trabajo de ingeniería de Internet) [1]. Se incluyen tanto las redes de área local como Intranets, Extranets y VPNs.

Los requisitos concretos de conectividad y QoS en las comunicaciones multimedia varían con las aplicaciones. En general las aplicaciones multimedia requieren de las redes de comunicación las más altas prestaciones en cuanto a conectividad, ancho de banda y garantías de calidad de servicio, considerando como críticos los parámetros QoS: variación del retardo, retardo extremo a extremo y en algunos casos también la tasa de error admisible (aplicaciones de proceso distribuido). Un tema importante es el de la escalabilidad en cuanto al número de conferenciantes en una comunicación multimedia y al número de comunicaciones multimedia simultáneas que se pueden soportar.

2.3.2 Servicio de telefonía IP

Bajo este concepto se engloban los mismos servicios de voz y audio que pueden ofrecerse sobre un canal de voz de la RTC/RTB (Red Troncal Conmutada/Red de Telefonía Básica), RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) y de las redes móviles digitales. Siendo el objetivo sean brindados utilizando las redes IP como soporte de los servicios de voz con miras a reducir los gastos asociados a estas comunicaciones. En ese contexto el principal interés de estos servicios se centra en las comunicaciones de larga distancia que son las más onerosas.

Si bien en la actualidad el marco legal se encuentra regulado, este tipo de comunicación hay tres aspectos que diferencian substancialmente la naturaleza de estos servicios de voz sobre IP frente a los servicios sobre las redes tradicionales de circuitos conmutados, estos aspectos son:

- La calidad de las comunicaciones.
- El grado de cobertura.
- La confidencialidad de las comunicaciones.

Respecto a la calidad, es relativamente inferior a la calidad sobre redes conmutadas, salvo que el servicio se ofrezca sobre redes IP privadas. Si las comunicaciones se establecen sobre la red Internet pública, no se puede garantizar la calidad, al menos en un 100% y de garantizar en ese porcentaje se sería con altos costos que ya no darían ventajas sobre la actual RTC/RTB.

La cobertura entre terminales se enmarca a la cobertura que tengan las redes IP, siendo necesario que se implementen bajo los estándares de compatibilidad para este tipo de comunicaciones, estas coberturas estarían limitadas por el despliegue que de estos servicios hagan los distintos proveedores y que deben pasar por acuerdos de interconexión con los operadores de redes de circuitos conmutados para voz, así como por el despliegue de la red NGN (*Next Generation Network*) por los operadores (*Carriers*).

Respecto a la arquitectura de red, la idea básica de las comunicaciones de voz sobre IP consiste en el empaquetamiento de la voz en paquetes IP y su adecuado encaminamiento por la red IP hacia el terminal distante. “Las funciones de adaptación entre la RTC/RTB y las redes IP se lleva a cabo mediante *gateways* (GW - pasarela) que forman parte de la red NGN” [13].

Las funciones de encaminamiento, asignación/traducción de direcciones, seguridad, etc., se llevan a cabo con los protocolos SCCP (*Skinny Call Control Protocol*) , H.323 ó SIP (*Session Initiation Protocol*) por medio de *gatekeepers* (GK - *Gate Keeper* - guardián de seguridad), servidores de direcciones DNS (*Domain Name Service*), de seguridad, etc., correspondientes al plano de señalización e inteligencia de las redes IP, en la FIGURA 2.11 se muestra una arquitectura simplificada y esquemáticamente los nodos de acceso de los proveedores de servicios IP (ISP - *Internet Service Provider*), pudiéndose usar señalización para telefonía con los protocolos indicados líneas arriba, en este caso particular utilizamos SIP como protocolo de inicio de sesiones para la interoperabilidad con la RTB/RTC (señalización SS7 o su evolución SIGTRAM).

"El protocolo de inicio de sesiones SIP (*Session Initiation Protocol*) ha sido desarrollado por la IETF con miras a la estandarización para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como el video, voz, mensajería instantánea, juegos en línea y realidad virtual" [3]. Cabe aclarar que tanto SCCP, SIP como H.323 son protocolos maduros que cuentan con sus partidarios y detractores en la industria, SCCP aunque es bueno no es un estándar y es propietario de Cisco, H.323 cuenta con una amplia base establecida pero SIP últimamente ha ganado mayor aceptación por parte de los proveedores de servicio para el transporte de tráfico VoIP, siendo así que en las redes de TdP se utiliza el SIP.

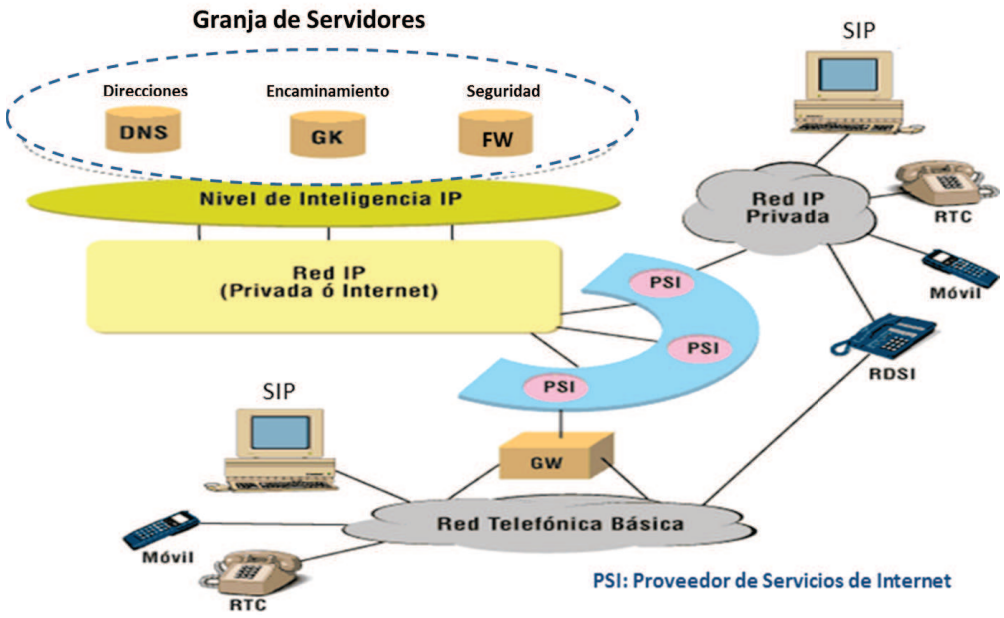


FIGURA 2.11 TOPOLOGÍA DE PROVISIÓN DE SERVICIOS DE VOZ CON SIP
(Fuente: Elaboración propia)

El SIP ha sido diseñado para que la telefonía se vuelva un servicio más en Internet siendo uno de los protocolos de señalización para voz sobre IP, permitiendo el establecimiento de sesiones multimedia entre dos o más usuarios mediante el intercambio de mensajes entre las partes que quieren comunicarse.

2.3.3 Aplicaciones exigidas

En adición a los servicios de multimedia y telefonía IP, se están considerando exigencias de aplicaciones como servicios punteros en la red de BA, para las áreas de cobertura se proponen las siguientes:

- Tele-educación, con posibilidad de seleccionar calidad de servicio, que soporte tráfico multimedia, proceso distribuido y conectividad "uno-a-varios" (*point to multipoint*).
- Aplicaciones de medicina e investigación médica, que requieren alta fiabilidad y anchura de banda.
- Transacciones comerciales con transferencias de datos en tiempo real.

Un aspecto esencial para el desarrollo de la infraestructura IP/MPLS y de sus servicios se basa en la utilización de la tecnología de acceso ethernet, utilización de trasporte VPN *Routing and Forwarding* (VRF), que se describe en la sección 3.1.2 y su evolución al protocolo IPv6 (*Internet Protocol version* 6) debiendo su implementación ser compatible con la versión actualmente usada de IPv4.

2.4 Consideraciones de desarrollo

Para el desarrollo de la teoría es fundamental tener en cuenta la interoperabilidad entre redes IP y la RTC/RTB la cual debe darse mediante comunicaciones basadas en servidores con funciones de NGN usando topologías cliente-servidor, denotando una forma de comunicación según el cual un programa *software* que se ejecuta en un "cliente" (p.e.: un terminal), solicita y procesa una serie de datos recabados a una base de datos residente en un servidor de acceso SA.

En este marco de desarrollo para el interfuncionamiento entre redes tradicionales de telefonía con las redes de servicios de valor agregado de BA se requiere de variables como son el soporte de diversos tipos de servidores IP en la red IP y el uso de terminales ATA (*Analogue Terminal Adapters*) o IAD (*Integrated Access Device*) del lado de usuario final en su etapa de transición hasta que se tenga implantada totalmente la NGN clase 5 (usuarios finales de telefonía con VoIP) la cual interpela con las redes RTB/RTC y las

redes IP aportando también soluciones como postas o locutorios púbicos, la FIGURA 2.12 presenta un esquema global que muestra el concepto de interoperatividad con redes legadas, donde las redes ATM "*legacy"* son interconectadas a las redes actuales IP para brindar el servicio de Internet a través de un PSI (Proveedor de Servicios de Internet) o ISP, el cual cuenta con puntos de presencia para también interoperar con la RTB *"legacy"* que proporciona servicios IP de acceso conmutado mediante SAs que son módulos de procesamiento de señales digitales para el tratamiento del tráfico IP.

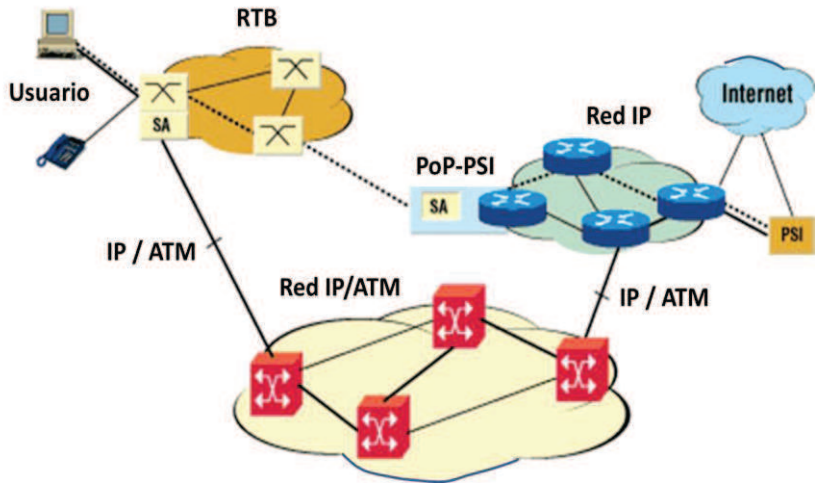


FIGURA 2.12 TOPOLOGÍA DE RED IP INTERCONECTADA CON LA RTB
(Fuente: Elaboración propia)

Complementando lo indicado en la sección 2.3.2, para que una red de VoIP sea interoperable con la plataforma NGN, se requiere de "controlar variables en la red como son servidores de conmutación de paquetes IP - *appliance SoftSwitch* (SS), dispositivos programables SBC (*Session Border Controller*) que controlan las llamadas permitiendo el manejo del protocolo SIP para su interconexión con los SG (*Signalling Gateways*) y MGW (*Media Gateways*) para la interoperatividad con la RTB" [13].

En el ámbito de redes de BA es imperativo que para la interconexión de las redes de acceso con las redes de transporte se respeten los estándares para su adecuado interfuncionamiento, en la FIGURA 2.13 se muestra un ejemplo de la secuencia de la interconexión de redes desde los entornos del usuario final (*gateways* residenciales, dispositivos IAD de acceso integrado, switches ethernet, routers empresariales y centrales PABX IP) pasando por las redes de acceso xDSL o ethernet a través de la red de transporte IP/MPLS para llegar finalmente a las plataformas de servidores específicos, en este caso particular se muestra de ejemplo servidores de valor agregado.

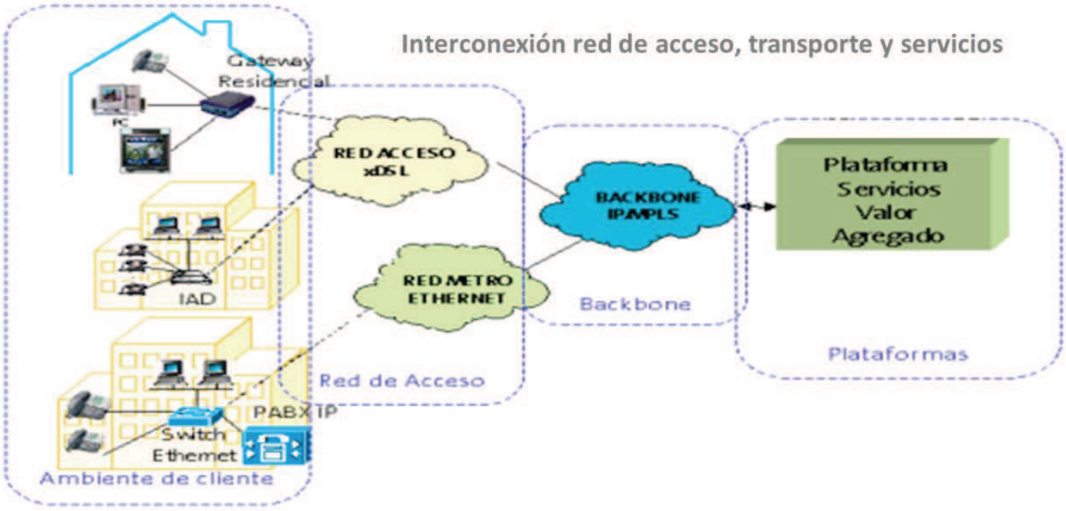


FIGURA 2.13 REFERENCIA DE INTEROPERABILIDAD DE REDES DE BA
(Fuente: Elaboración propia)

En general el concepto de desarrollo teórico de la plataforma de servicios que se propone, es brindar las diferentes variables de servicios de BA con la característica principal que dichos servicios además de ser brindados por el operador dominante puedan también ser brindados por diferentes proveedores de servicios de Internet o desde las redes de TOs tal como se esquematiza de manera general en la FIGURA 14, en donde se muestran servidores de referencia específicos de un determinado tipo de red o servicio, la idea aquí es conceptualizar en forma global la interoperabilidad a través del uso de los estándares con los proveedores de servicios de intermediación o de *brókers*.

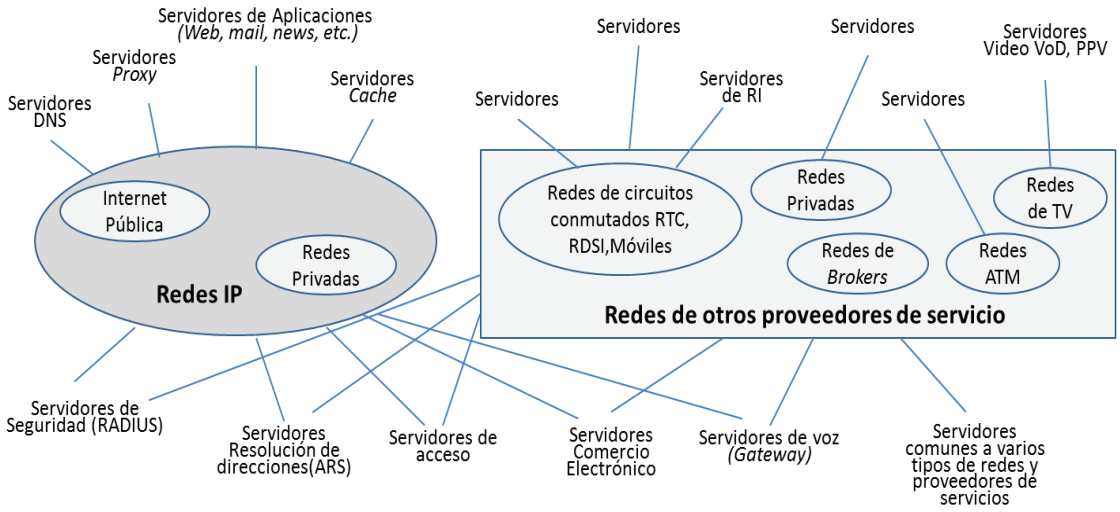


FIGURA 2.14 SERVIDORES SOPORTADOS EN DIFERENTES REDES
(Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO III
ANÁLISIS SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MODELO ACCESO BA

En este capítulo se presenta el desarrollo del estudio a nivel de ingeniería del proyecto y pre-diseño de la solución. Se analiza los modelos tecnológicos que actualmente se utilizan con infraestructura de alquiler de un "operador dominante", considerando la situación regulatoria que aplica a un TO para brindar servicios de acceso BA, se describen las prestaciones y exigencias técnicas requeridas para ofrecer los servicios de BA, aplicaciones de servicio para acceso xDSL o inalámbrico WI-FI y transporte vía Internet con el fin de proponer alternativas de modelos de red para el acceso a la BA.

Luego de presentar las alternativas basadas fundamentalmente en el uso de las redes ME del *Carrier* operador dominante con sus diferentes variantes en sus elementos de red se ha realizado la selección de la mejor alternativa que se propone como modelo a utilizar por los TOs; incluye el análisis para selección del modelo de red IP VPN, VRF y modelo de servicio AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*) del usuario final con lo cual se define el modelo propuesto que en el capítulo siguiente se desarrolla en detalle.

3.1 Análisis de tecnología y regulación

3.1.1 Acceso actual para TOs

Actualmente existe el servicio GigADSL[6] (FIGURA 3.1) ofrecido por TdP y dirigido al segmento mayoristas cuyo alcance incluye dar servicios de interconexión a concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones denominados TOs. Este es un servicio regulado por OSIPTEL desde el año 2002, en la que por disposiciones

[6] GigADSL: Es una modalidad de servicio de acceso de BA que ofrece a nivel mayorista Telefónica de Perú S.A.A. a TOs que disponen de ADSL cuya red de última milla no llega hasta la central telefónica de la que depende el usuario. En lugar de llegar a la central, basta con que la red del TO llegue hasta el PdP (Punto de Presencia) de TdP. Como hay un PdP intermedio que puede agrupar varias centrales, la inversión en red propia del TO es mucho menor. Para permitir la competencia, el servicio GigADSL está regulado por OSIPTEL en la oferta del Bucle de Abonado en la cual se especifica que los precios del servicio deben ser más baratos que los precios que TdP ofrece a los usuarios particulares. No obstante a los TOs les resultaría más barato utilizar un servicio basado en Ethernet e IP que pueda permitir usar idealmente un único PdP centralizado, o un número mínimo en lugar de mantener una red de varios PdPs repartidos a nivel nacional.

regulatorias TdP se encuentra obligada a brindar este servicio de transmisión de datos utilizando transporte L2 basado en tecnología de circuitos virtuales ATM y proporcionando acceso ADSL (planta externa de par de cobre) más equipamiento DSLAM (*Digital Subscribers Line Access Multiplexers*) ATM y red de transporte ATM a fin de que un TO pueda ofrecer servicios de acceso a Internet en BA a clientes finales.

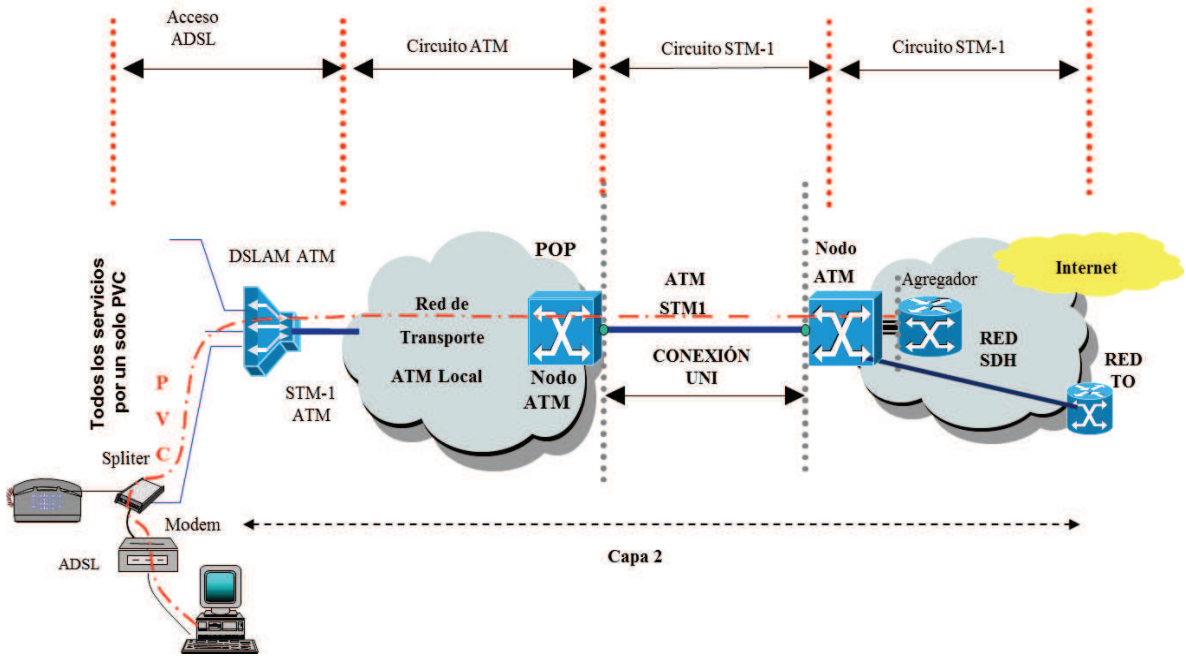


FIGURA 3.1 MODELO ACTUAL ACCESO A TERCEROS
(Fuente: Elaboración propia)

3.1.2 Situación tecnológica

Entre los modelos vigentes aún se mantiene para el acceso la tecnología ATM, DSLAM ATM 7300 ASAM de ALCATEL (ver FIGURA 3.2), los mismos que debido al incremento de usuarios y tráfico, tienen el inconveniente de no ser escalable desde el punto de vista de provisión (manejo de PVCs y SVCs).

TdP mantiene este modelo de acceso dado que cuenta con una amplia infraestructura desplegada de tecnología ATM, trasporte SDH-PDH, con medios de trasmisión STM-1 y circuitos TDM en E1 y E3 (30 CHs de 2048 Kbit/s y 480 CHs de 34368 Kbit/s respectivamente) acondicionados a su sistemas de gestión, provisión y facturación, con tarifas ya reguladas por el estado a través de su organismo regulador y controlador OSIPTEL de conformidad con la legislación vigente en el país.

FIGURA 3.2 DSLAM ATM 7300 ASAM y ETHERNET 7302 ISAM DE ALCATEL
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

En el ANEXO A y ANEXO B se muestra la estructura y componentes que intervienen para las tarifas vigentes) con lo cual se continua con tarifas que no se reducen toda vez que los accesos STM-1 y circuitos de red ATM tienen costos elevados en comparación con los accesos ethernet (*Fast* y *Giga*) sobre anillos ME y red MPLS (*Multiprotocol Label Switching* – Conmutación de etiqueta multiprotocolo).

La tecnología Ethernet e IP/MPLS ha tomado más fuerza debido a su abaratamiento en el acceso y transporte. Los DSLAMs ethernet permiten el manejo del tráfico IP en una forma más flexible y escalable, y la tecnología IP/MPLS VPN no solo incrementa las prestaciones en la red, si no que facilita la gestión, O&M (Operación y Mantenimiento) de los equipos de red optimizando costos. En ese entorno TdP viene desplegando actualmente DSLAMs ethernet para su servicio *Speedy* residencial (ver FIGURA 3.3), siendo imperativo que se haga la migración total de los accesos de TOs que se encuentran hoy en DSLAMs ATM hacia los nuevos DSLAMs ethernet y la red IP/MPLS.

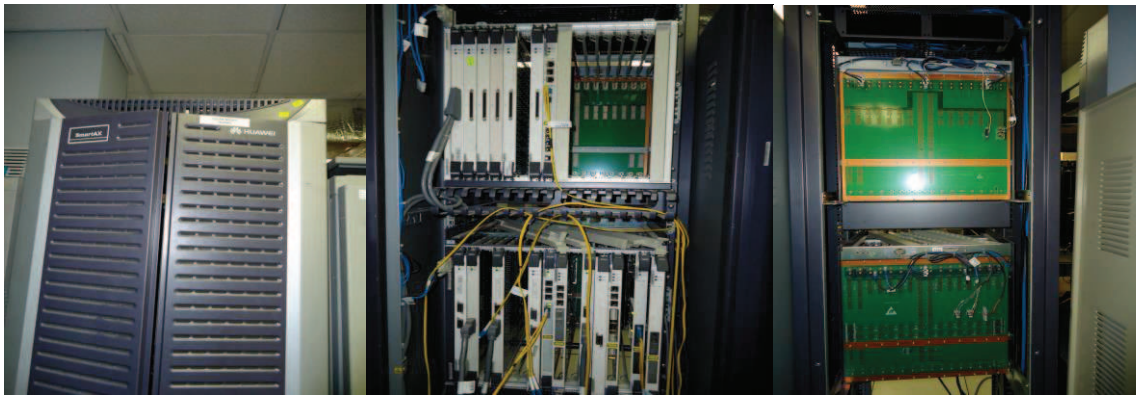


FIGURA 3.3 DSLAM ETHERNET MA5600 DE HUAWEI
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

Dado que el servicio actual de acceso a TOs basado en acceso ATM con transporte SDH/STM-1 se encuentra en "obsolescencia técnica" y debido a que los accesos ethernet con trasporte IP/MPLS VPN no son "obligatoriamente" utilizados actualmente para interconexión de los TOs por falta de regulación de dicha tecnología, se propone brindar nuevas modalidades de acceso a TOs o ISPs y otras empresas interesadas en brindar servicios de telecomunicaciones, mediante la utilización de infraestructura moderna y alquiler de instalaciones existentes, abaratando de esta forma costos para que en paralelo con una nueva regulación por parte de OSIPTEL permitir el incremento de TOs haciendo factible brindar con criterios de rentabilidad los servicios IP en banda ancha en zonas marginales y sectores emergentes, *e*n el ANEXO C se muestra una tabla comparativa entre las tecnologías mencionadas ATM vs Ethernet.

En ese enfoque para el logro de este objetivo con el aprovechamiento de infraestructura existente que minimicen costos de inversión al TO, se necesita un *Carrier* "operador dominante" con suficiente infraestructura de transporte IP, de transmisión de datos a nivel nacional sobre red ME, red IP/MPLS, líneas xDSL y nodos Wi-Fi *Offloading* (para el bucle de acceso) orientados a brindar acceso de BA que permitan interconectarse tanto a la cobertura de sus redes fijas como redes móviles celular para atender al máximo los requerimientos de TOs.

Este servicio de acceso de BA propuesto sobre la infraestructura "alquilada" de un operador dominante debe ser necesariamente mediante el uso de tecnología que permita el manejo de VPN's con capacidades de enrutamiento y reenvío, y con manejo de tablas de rutas virtuales VRFs para cada VPN.

Siendo así, el operador dominante que reúne todos los requisitos mencionados para dar soporte a los TOs, incluyendo líneas de pares de cobre con acceso ADSL y acceso Wi-Fi *offloading* en nodos centrales denominados PoPs (*Point of Precense* - Puntos de Presencia) con cobertura y mayor penetración a nivel nacional es sin duda Telefónica del Perú S.A.A. (TdP).

Cabe aclarar que: "la VPN es una red privada virtual que se soporta en una red pública típicamente proporcionada por un operador de servicios para unir dos o más sitios remotos aprovechando enlaces existentes en lugar de utilizar enlaces exclusivamente dedicados" [12]. El tipo de VPN es determinado por los protocolos que son acordados a usar para la construcción de un túnel virtual entre la red del operador y la red del cliente.

Las VPNs propuestas son de capa 2 en protocolo CSMA/CD (Ethernet IEEE 802.3) y capa 3 asociada al protocolo BGP-4 (RFC 1171) para operar en red IP/MPLS de tal forma que las "VRFs (*Virtual Routing and Forwarding*) de capa 3 pueda manejarse en una VPN con manejo de protocolo de reenvío de paquetes en la modalidad VPN *Routing and Forwarding* haciéndola independiente de la capa 2, lo cual es elemento clave de la tecnología VPN MPLS" [7].

Los routers mantienen una VRF separada por cada VPN. "La VRF está comprendida por una tabla virtual de enrutamiento para determinado cliente y es donde se procesa la información (rutas, interfaces, protocolo y políticas) para el encaminamiento a los *sites* de dicho cliente permitiendo el transporte de su tráfico a través del túnel de la VPN hasta sus oficinas remotas, la diferencia entre VPN y VRF radica en que la VRF está comprendida por la tabla virtual de enrutamiento para determinado usuario y es quien realiza el encaminamiento, información que es transportada a través de la VPN hasta los *sites* correspondientes" [12]. Más adelante en el desarrollo del diseño de modelo de red e implantación de la red se profundizan los conceptos VPN y VRF.

3.1.3 Situación tarifaria

La metodología de regulación tarifaria seguida por el OSIPTEL recoge los procedimientos propuestos por TdP (año 2008), correspondientes al dimensionamiento y cálculo de las inversiones que determinan los costos atribuibles al servicio GigADSL de tecnología ATM, sobre la base de los cuales se calculan los porcentajes de distribución, tomando en cuenta los costos de la red de acceso y la red de transporte ATM.

Del 100,00% de la tarifa que tiene que pagar el TO por el uso de la infraestructura "alquilada" al operador dominante, tal como lo estipulado por el regulador OSIPTEL el valor de 72,80% es utilizado para atribuir los costos a los puertos ATM (costos fijos) y la diferencia (27,20%) es utilizada para atribuir los costos al acceso ADSL más el circuito virtual ATM (costos variables), ver ANEXO A y ANEXO B.

Bajo este contexto en donde la tarifa para el acceso del TO está definida en dos componentes, la prestación del acceso ATM tiene un elevado componente de costo fijo, persiguiendo el objetivo que el componente fijo se diluya en el tiempo conforme el entrante vaya creciendo en su escala de negocio, no obstante en relación con el fomento de la competencia se deduce que bajo este esquema la entrada al negocio no es atractiva, solo lo sería bajo el supuesto que el TO entrante crezca exponencialmente.

Una tarifa mayorista más baja se puede dar utilizando tecnología moderna, como por ejemplo el uso de acceso ethernet con trasporte IP/MPLS con redes virtuales tipo VPN *Routing and Forwarding* (*Layer 2 forwarding protocol*), haciendo mucho más viable la entrada de nuevos operadores, toda vez que al abaratarse la tecnología de entrada, la empresa entrante o TO tendría fuertes incentivos para crecer en su escala de negocio al reducirse el costo que actualmente se cobra por los puertos de acceso ATM.

Considerando lo antes señalado, al rebajar el porcentaje de costo fijo se permite establecer tarifas bajas que hacen factible el ingreso de otros operadores, sin que esto signifique de ninguna manera menoscabar una retribución adecuada de ingresos a TdP por la provisión del servicio. Con el modelo tarifario actual basado en tecnología ATM se evidencia que éste permite una redistribución monetaria conveniente para TdP pero que no hace interesante el ingreso de nuevos operadores. Las tarifas reguladas que se manejan actualmente implican tener mayores componentes tarifarios correspondientes a las prestaciones de TdP (acceso ADSL + circuito virtual ATM + costo de enlace troncal) lo cual es contrario para hacer viable la entrada de nuevos operadores que compitan con TdP en los servicios finales de BA.

Concluimos en que la tarifa por cada usuario que atiende el TO competidor relacionada con el precio final (por velocidad establecido por TdP) que es pagada por el TO conllevan a márgenes de operación de baja rentabilidad para el competidor, poniendo en evidencia que existe una alta barrera de entrada al mercado de nuevos operadores o competidores y por lo tanto, limitándose el objetivo del estado de permitir que otros operadores compitan con TdP en la provisión de servicios de BA con acceso ADSL y/o acceso WI-FI.

En el capítulo 5 (secciones 5.10 y 5.11) se desarrolla la evaluación económica, mostrándose en las TABLAS 5.16 y 5.17 los indicadores de márgenes de utilidad rentabilidad para un TO que se ven afectados por los costos de alquiler de infraestructura y servicios de TdP, lo cual sustenta la conclusión antes indicada (ver TABLA 5.16 para 100 usuarios que resulta no rentable con indicadores económicos negativos.

3.2 Análisis de prestaciones y requerimientos

3.2.1 Servicio de acceso BA

En concordancia con lo mencionado en la sección anterior, para la propuesta de nuevas soluciones de servicio de acceso BA para TOs, se utiliza la infraestructura de TdP

por ser el operador dominante en telefonía fija - planta externa (amplia base de líneas de cobre), que ya cuenta con una extensa infraestructura de PoPs a nivel nacional, gran cantidad de DSLAMs ethernet para accesos de BA a nivel nacional, nodos WI-FI *Offloading* para acceso *wireless* de última milla y demás requerimientos de red ME e IP/MPLS (FIGURA 3.4). Los requerimientos generales se resumen en lo siguiente:

- Servicio de transmisión de datos e IP que utilice una tecnología escalable como Ethernet e IP/MPLS.
- Permitir concentrar los accesos de los abonados por determinadas zonas a través de una red de anillos ME.
- Ofrecer la infraestructura de acceso y transporte que permita:
  - Los accesos vía PoPs regionalizados que engloben varios DSLAMs ethernet, o idealmente emular un POPs de muy alta capacidad centralizado para acceso IP (que permita minimizar los costos al TO entrante)
  - Una línea telefónica fija ubicados dentro del área de cobertura.

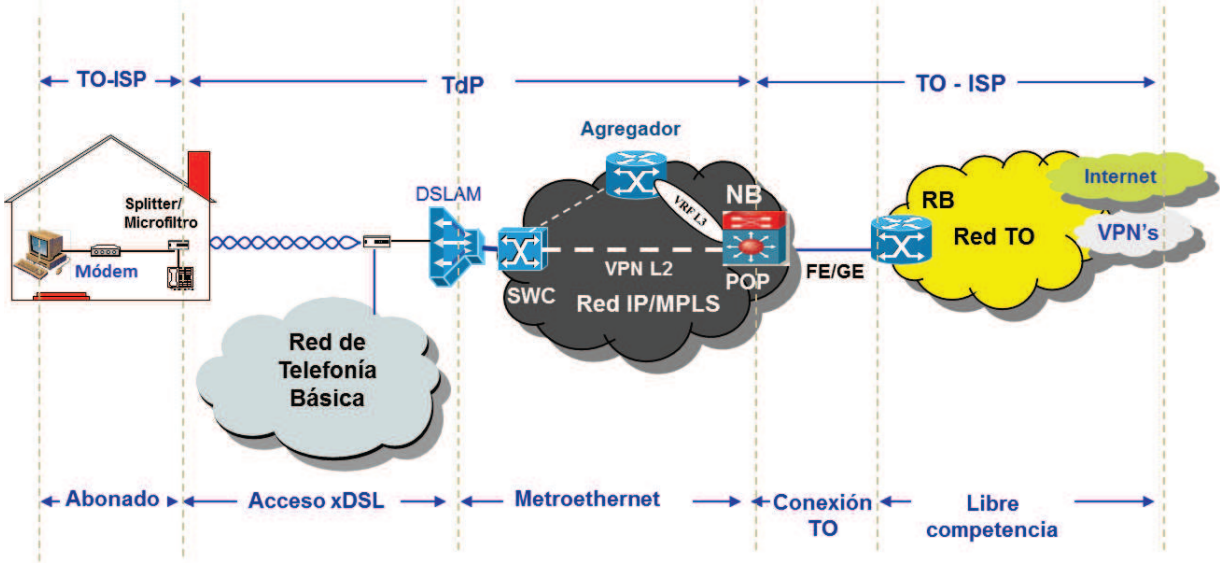


FIGURA 3.4 ESQUEMA DE REFERENCIA PROPUESTO
(Fuente: Elaboración propia)

- El servicio se debe entregar en los PoPs que se determinen, mediante una interface FE/GE, con una velocidad de línea de 100Mbps, 1Gbps y de 10 Gbps.
- En la interface se debe proporcionar una conexión virtual por cada modalidad del servicio xDSL contratado por el TO.
- En la red IP/MPLS se debe manejar la tecnología VPN L2/L3 y VRF [8].
- A nivel de conectividad de "última milla" del usuario final se debe permitir el uso de tecnología Wi-Fi.

3.2.2 Servicio de acceso xDSL

Se propone implementar los servicios xDSL bajo las siguientes características:

- El TO podrá brindar diversos servicios de datos con modalidades de transmisión asimétrica (ADSL) o simétrica (G.SHDSL).
- Permitir al TO brindar servicios a un mayor número de clientes. mejorando la eficiencia en la utilización de ancho de banda.
- Permitir a los TO brindar los servicios BA con calidad de servicio QoS y acuerdos de niveles de servicio SLA en zonas rurales, marginales y sectores emergentes.
- Los TO deberán poder ofrecer a sus clientes:
  - Transmisión de volúmenes de información de aplicaciones que demandan alto tráfico, tales como multimedia (textos, gráficos, imágenes, audio, video), transferencia de archivos FTP, e-mails y HTTP navegación *web*.
  - Diversas velocidades adaptadas a sus necesidades.
  - Servicios de valor agregado: transacciones electrónicas (p.e.: POS – *Point of Sale*), tele-educación, tele-medicina y comercio electrónico entre otros.

3.2.3 Servicio de acceso Internet

Para el acceso a Internet se propone el uso de servicio dedicado (FIGURA 3.5) bajo las siguientes características:

- Cobertura nacional que permita velocidades de acceso desde 10 Mbps hasta 1Gbps como mínimo.
- *Overbooking* de 1:1 al 100% para navegación de contenidos locales, nacionales e internacionales.
- Acceso de última milla mediante tecnologías Ethernet CSMA/CD IEEE 802.3.
- Acceso de última milla mediante tecnologías xDSL.
- Acceso de última milla mediante tecnología Wi-Fi IEEE 802.11.
- Acceso de última milla mediante tecnología Wi-Fi *Offloading.*
- Conexión a Internet a través de la red IP MPLS.

Se requiere contar con equipos que sean compatibles con la red de TdP, para lo cual se debe hacer las pruebas de interconexión correspondientes.

Aplicaciones del servicio de transporte dedicado para Internet:

- Redundancia múltiple en la red IP MPLS, tales como redundancia en equipos de ruteo, *backbone* de red, servidores DNS, DPI (*Deep Packet Inspection*), etc.
- Redundancia de enlaces de salida internacional y equipos de balanceo de carga, entre otros.

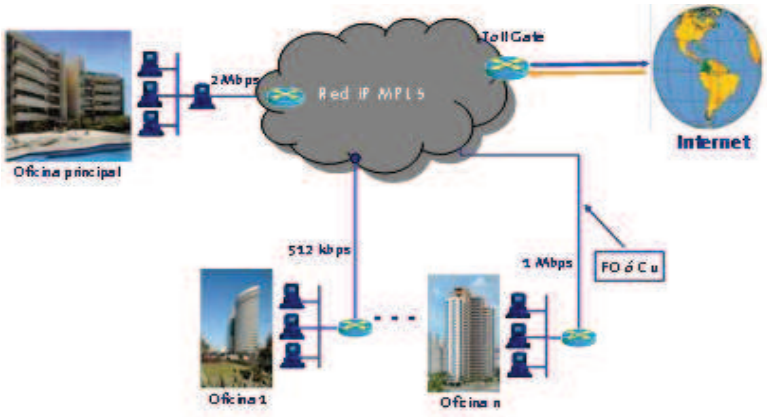


FIGURA 3.5 ESQUEMA DE TRASPORTE DEDICADO PARA INTERNET
(Fuente: Elaboración propia)

- Mínimo tiempo de descarga de contenidos al contar con servidores "*cache*" en la red de TdP.
- Monitoreo del consumo del ancho de banda a través de la herramienta *web* data *online*, controladores de tráfico, plataforma de medición SLA, etc.
- Permite el acceso e implementación de todos los servicios de Internet, incluyendo el uso de Contenidos de Calidad[7] vía servidores *cache* específicos de TdP.

3.3 Modelos de red de acceso BA

Para el despliegue del servicio de BA, ésta sección tiene como objetivo analizar opciones de modelos de acceso BA basadas en arquitecturas de red de acceso ME, con miras a asegurar una integración técnica escalable para TOs o ISPs, con la plataforma de red BA existente del operador dominante TdP que cuenta con la mayor infraestructura de diversas redes a nivel nacional. Las alternativas de acceso BA propuestas están basadas en tecnología de módems de acceso xDSL con DSLAM ethernet, redes Ethernet y *core* IP/MPLS, buscando además la solución apropiada en costos para que TOs brinden accesos a servicios IP en BA en las zonas en desarrollo propuestas (no se incluyen en esta sección las parte de acceso WI-FI, la cual se trata independientemente en la sección 5.6 como complemento a las alternativas presentados), estas alternativas de modelo Ethernet son las siguientes:

- Alternativa 1 - Concentrador ATM.

[7] Contenidos de Calidad.- Sólo las grandes empresas de consultoría y los medios de comunicación más reconocidos se han dedicado a impulsar la nueva forma de relación comercial en Internet: basada en la venta de contenidos de calidad. TdP ha incursionando en ese negocio y cuenta con servidores de cache especializados que además de páginas web almacenan diversos tipos de contenidos.

- Alternativa 2 - Interworking ATM.
- Alternativa 3 - Nodo de Borde.
- Alternativa 4 - Router de Borde.
- Alternativa 5 - Clear Channel.
- Alternativa 6 - IP VPN L3.

3.3.1 Alternativa 1 - Concentrador ATM

La alternativa 1 plantea la utilización de DSLAMs ethernet en el acceso y la utilización de la infraestructura de red ATM existente para el trasporte, para lo cual se usa como interface de interconexión un concentrador ATM operando sobre IEEE 802.3 (*Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5*) y RBE (*Router Bridge Encapsulation*) según la RFC 1483.

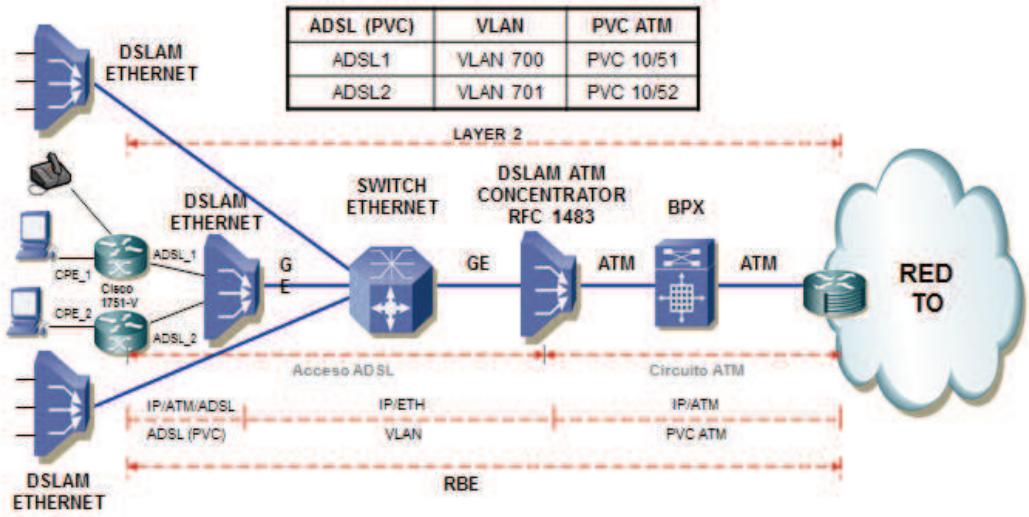


FIGURA 3.6 MODELO CON CONCENTRADOR ATM
(Fuente: Elaboración propia)

Existen dos métodos diferentes en el RFC 1483 para llevar el tráfico de unidades de datos de protocolo PDU sobre una red ATM, el primer método permite multiplexar múltiples protocolos sobre un único circuito virtual ATM y el segundo método es de un nivel de capa de protocolo más alto basado en multiplexación de circuitos virtuales (VC) ATM, en la FIGURA 3.6 se muestra esta opción de VC.

3.3.2 Alternativa 2 - Interworking IWF ATM

La alternativa 2 plantea utilizar los DSLAM ethernet en el acceso y la red ATM existente para usarlo como interface de "*interworking function*" ATM IWF en capa 2 entre un SW L2 y el Nodo ATM, en la FIGURA 3.7 se muestra esta opción.

Para la conversión de ethernet a ATM, la carga útil PDU del *bridge/ethernet* 802.x debe ser trasportada al campo de carga útil del campo AAL5, así como la encapsulación LLC mapeada con los formatos según se plantea en la RFC 2684. La interfaz lógica ATM utiliza su mismo VPI configurado cuando se realiza la segmentación de los "*frames ethernet"* dentro de las celdas ATM. El *interworking* de ATM a ethernet provee esencialmente *cross-connect* en el switch L2 y las estadísticas son reportadas en el nivel de interface lógica.

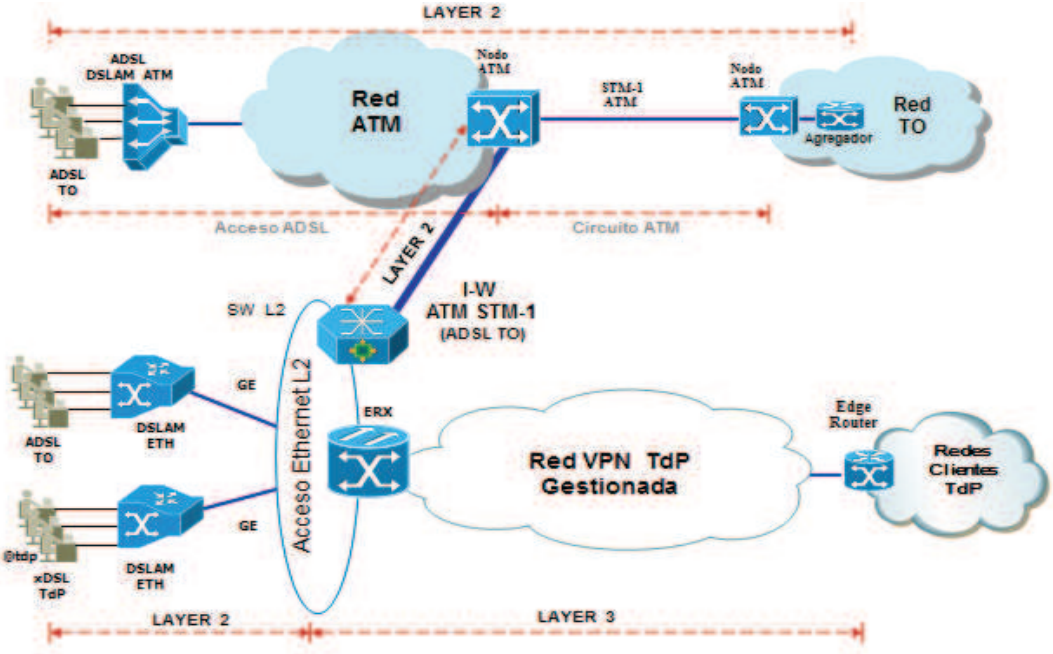


FIGURA 3.7 MODELO ETHERNET CON INTERWORKING ATM
(Fuente: Elaboración propia)

3.3.3 Alternativa 3 - Nodo de Borde

La alternativa 3 plantea el uso de DSLAM ethernet con VLANs, VPN L2 en el acceso y el uso de la red IP/MPLS en la red de agregación con VPN L3 con manejo de VRF en la modalidad "VPN *Routing and Forwarding*" (Layer *2 forwarding protocol*) [1] descrita en la sección 3.1.2, utilizando como elemento de borde de cara al TO un switch ethernet denominado Nodo de Borde (NB), esta opción se muestra en la FIGURA 3.8.

El NB debe manejar necesariamente protocolos de nivel 2, nivel 3 y nivel 4 (ver FIGURA 3.13) a fin de montar las tablas MAC y rutas IP, soportando ruteo estático y dinámico OSPFv2, ISIS y BGP-v4, dentro del entorno de una red de acceso ME y red IP/MPLS además de VPN L2 debe soportar VRF en el modo VPN *Routing & Forwarding* para permitir la construcción de VPNs de capa 3 sobre MPLS utilizando BGP conforme a las recomendaciones de la RFC 2547.

A nivel de encapsulación permitir poner etiquetas MPLS sobre IP para el trasporte de IP sobre MPLS, permitir extender el MPLS hacia el borde del acceso, es decir etiquetar MPLS con cabeceras ethernet para el manejo de MPLS sobre ethernet para el transporte de VPN L2 y VPLS en la red ME, y permitir servicios diferenciados de tráfico mediante el uso de la funcionalidad *diffserv* y marcado en cabecera IP (campo TOS).

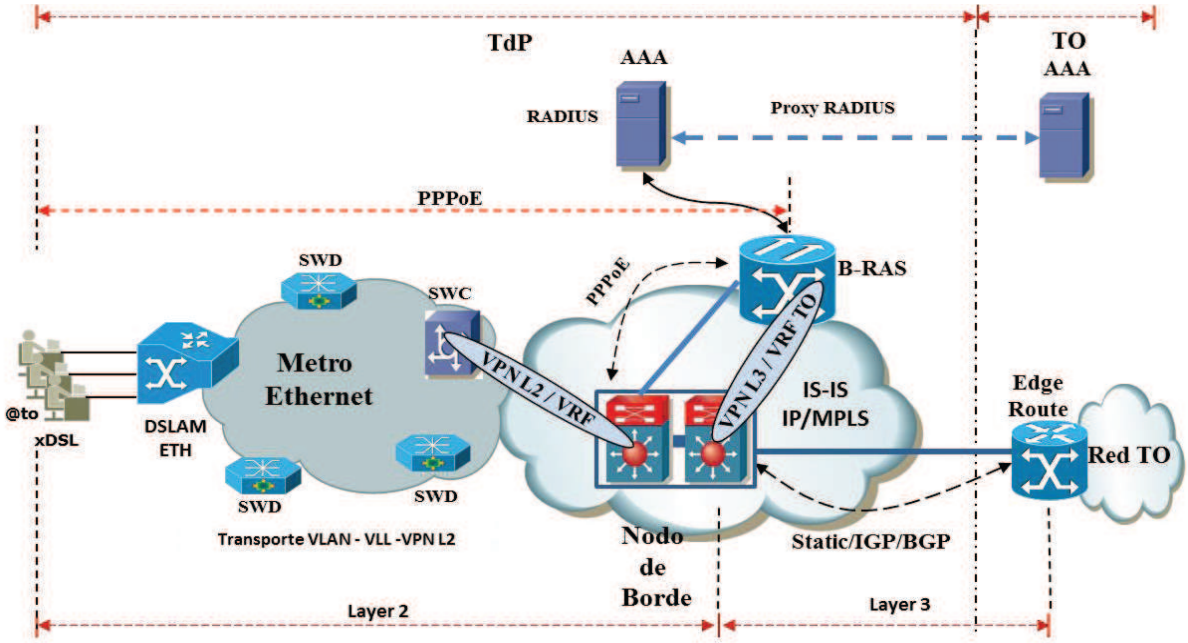


FIGURA 3.8 MODELO CON METRO ETHERNET Y NODO DE BORDE
(Fuente: Elaboración propia)

La interoperatividad e interconexión lógica entre el agregador que es el BRAS o NISIP con el NB es de un lado PPPoE que se extiende hasta el SWC (SW concentrador) en capa 2 y de otro lado es vía VRF en capa 3. El NB se interconecta con el núcleo IP. Para la interoperabilidad del NB de cara al ER (*Edge Router)* elemento de borde de red del TO que usualmente es el router, se puede utilizar bien ruteo estático, protocolos IGP o iBGP.

3.3.4 Alternativa 4 - Router de Borde

La alternativa 4 plantea la utilización de DSLAM ethernet en el acceso y la utilización de la red IP/MPLS en la red de agregación. Este modelo es similar a la alternativa 3 con la diferencia que en este caso se utiliza como elemento de borde de red el elemento de red de capa 3 denominado Router de Borde (RB) de interface con la red del TO, desde el punto de vista de costos cabe mencionar que comercialmente adquirir un router resulta más económico que adquirir un SW multinivel. El RB debe permitir la creación de VPNs de capa 3, VRFs sobre red IP/MPLS y manejo de protocolo de borde para el tratamiento independiente de cada TO, en la FIGURA 3.9 se muestra esta opción.

El RB debe permitir el manejo de calidades de servicio QoS sobre la red IP/MPLS operando en VPN L3, RSVP-TE y BGP-v4 para interactuar con múltiples TO, permitir servicios de marcación de cabeceras IP VPNL3 para QoS mediante el uso de la funcionalidades de tráfico. Por tratarse de una tecnología de capa 3 esta opción debe manejar en forma nativa la virtualización de routers e instancias de tablas de ruteo en forma independiente por cada red privada virtual sin inconvenientes.

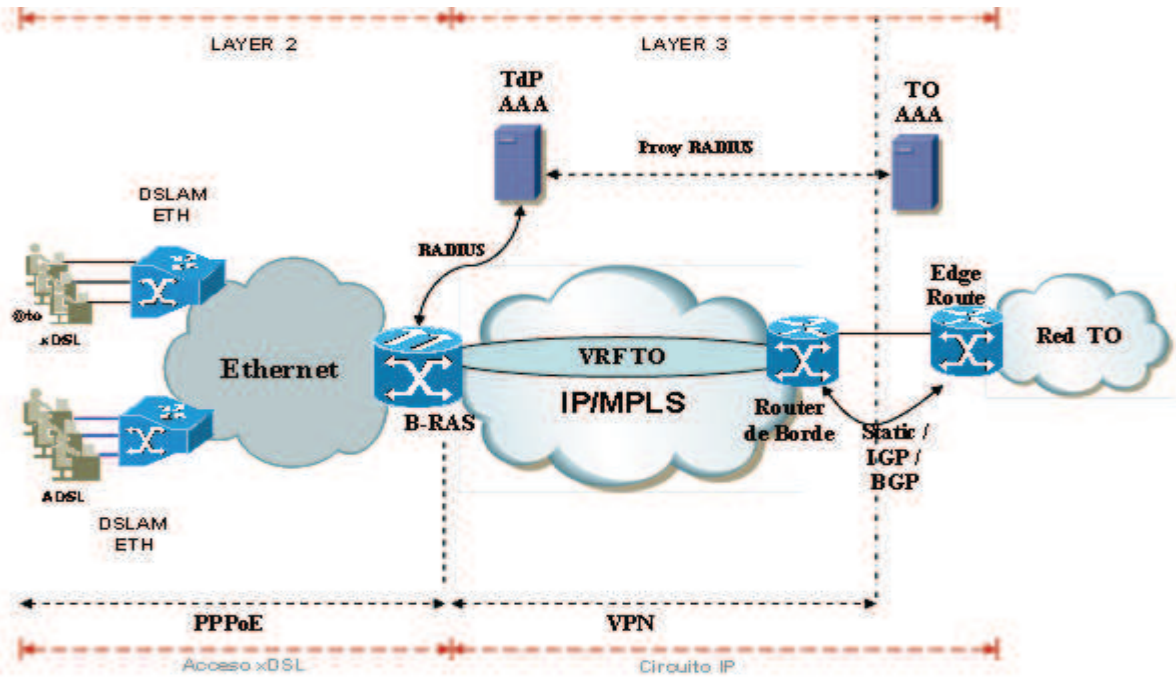


FIGURA 3.9 MODELO CON METRO ETHERNET Y ROUTER DE BORDE
(Fuente: Elaboración propia)

Respecto al modelo de interoperabilidad e interconexión lógica entre los agregadores BRAS/NISIP y el RB de TdP (elemento de red de cara al TO), similarmente a la alternativa 3 también se puede utilizar como opciones adicionales a analizar las alternativas de configuraciones en IP plano o L2TP.

3.3.5 Alternativa 5 - Clear Channel

Este modelo se basa en utilizar infraestructura de canales de transporte SDH libres, PDH o de circuitos TDM (p.e.: tipo E1, E3) y radio microondas entre 300 MHz y 300 GHz, utilizando su capacidad de canal para la transmisión de datos de un sitio remoto a otro central como un enlace dedicado de datos transparente punto a punto. Con la introducción de nuevos medios de transmisión aún existen equipos de acceso disponibles donde un solo transmisor funcione a la vez, siendo la idea en esta opción minimizar costos de inversión en red de trasmisión.

Básicamente la idea es aprovechar la infraestructura "*Legacy"* de red cableada y de radio de TdP en provincias que se encuentra aún energizada y expandida granularmente a nivel nacional, en la FIGURA 3.10 se muestra esta opción.

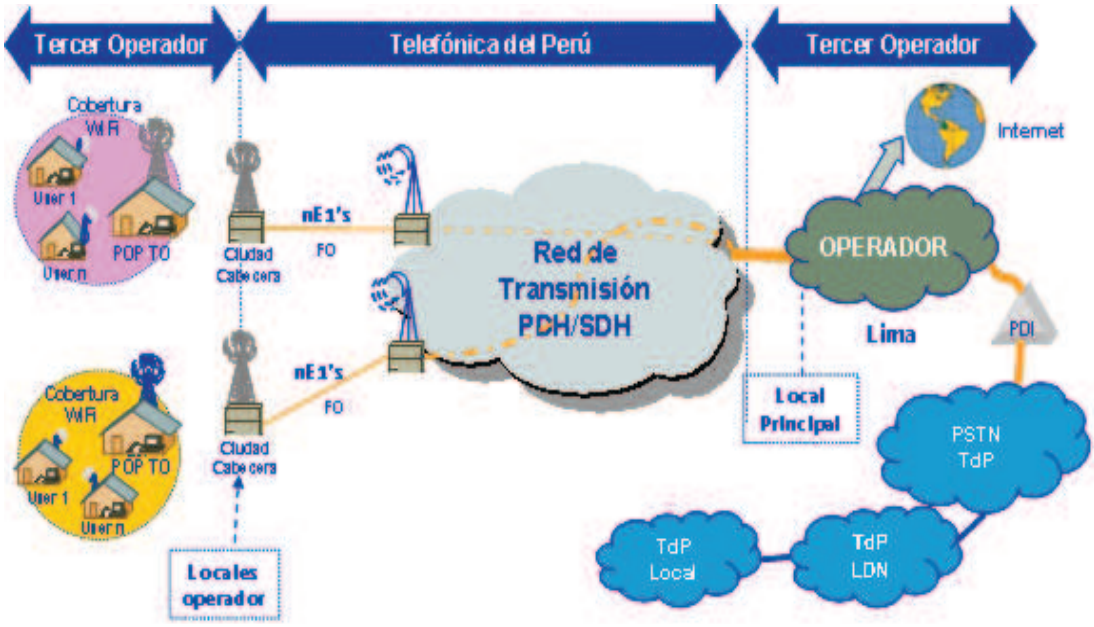


FIGURA 3.10 MODELO CON CLEAR CHANNEL
(Fuente: Elaboración propia)

A esto se agrega que en lugares remotos TdP cuenta con acceso radio vía MAR (Multiacceso Radial) que se integra a estas redes "*clear channel"* y que se interconectan principalmente con la PSTN que conforman las redes RTC/RTB de TdP.

3.3.6 Alternativa 6 - IP VPN L3

Este modelo plantea la utilización de la infraestructura moderna de red y tecnología de punta de la red IP/MPLS de TdP Empresas para clientes de negocios, básicamente aquí la idea es poder utilizar la tecnología avanzada de redes privadas virtuales VPN de capa 3 ya existente en dicha red empresarial para que sobre esta infraestructura utilizando los RB (Routers de Borde) de TdP Empresas implementar las aplicaciones VRF en capa 3 en forma similar a lo planteado en las alternativas 3 y 4.

En la FIGURA 3.11 se muestra esta opción haciendo énfasis en el uso de funcionalidades de ingeniería de tráfico TE-MPLS que se usa en TdP tanto con los grandes clientes corporativos y en algunos casos en PYMES medianas, cumpliendo con los requerimientos planteados para brindar acceso a otros proveedores de servicios con soporte de calidad de servicio.

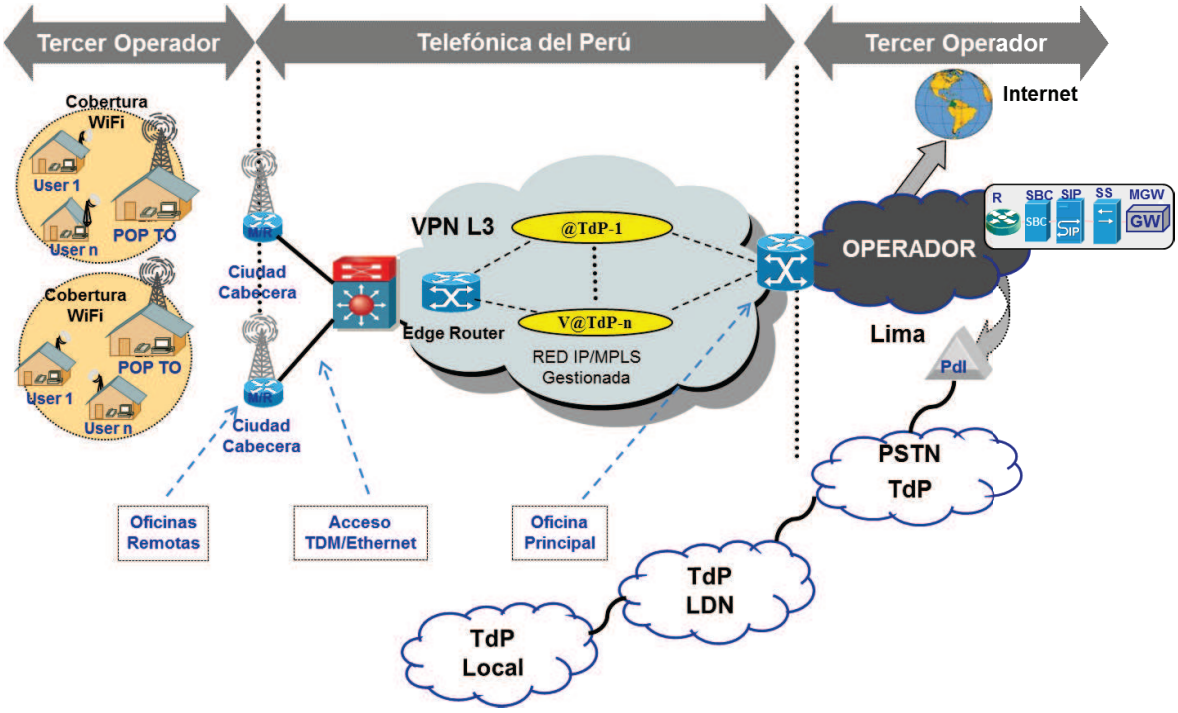


FIGURA 3.11 MODELO CON RED IP-VPN L3
(Fuente: Elaboración propia)

3.4 Selección de alternativa

3.4.1 Análisis alternativas 1 y 2

Ambas propuestas se analizan conjuntamente por cuanto involucra interacción con la red ATM existente. Si bien las alternativas 1 y 2 se plantearon con la idea de aprovechar la amplia infraestructura existente de ATM en TdP y que se minimice la inversión en nuevo equipamiento, se puede resumir que en relación a la capacidad, un factor que más pesa en los enlaces troncales es su limitación para el transporte de datos a velocidades de 155 Mbps y en el mejor caso 622 Mbps, esto debido a su estructura compleja de pila de protocolos y capas de adaptación (Ver FIGURA 3.12).

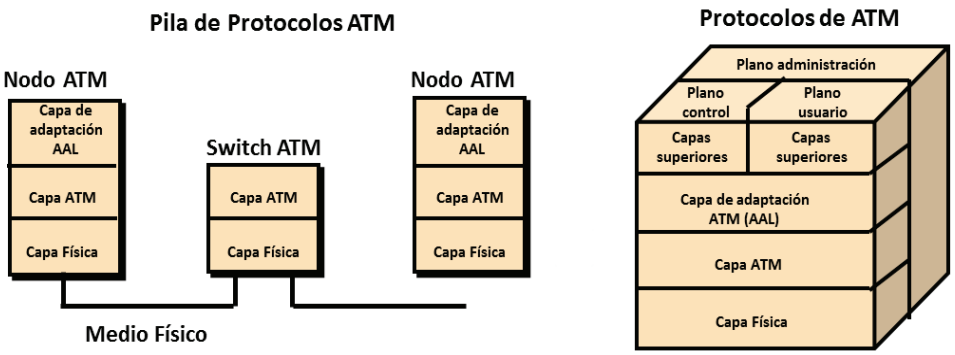


FIGURA 3.12 MODELO CAPAS PROTOCOLO ATM
(Fuente: ATM *Forum*)

Como los recursos en la red ATM no se reservan y los recursos de buffer son limitados, cuando a un enlace se le asigna una excesiva cantidad de tráfico podemos tener congestión y por consiguiente pérdida de celdas. La existencia de buffers en los conmutadores puede provocar a las celdas un retardo variable, esto se explica en detalle la sección 2.2.2. En ese sentido en cuanto a escalabilidad de ancho de banda, el fuerte crecimiento en el volumen de tráfico de datos por la crecida exponencial de Internet, unida a la rápida implantación de la tecnología Gigabit ethernet han provocado que ATM ya no pueda ser considerada como una tecnología ideal de transporte a largo plazo.

En contraposición una red ethernet tiene menos limitaciones de velocidad, existen interfaces en planta de 40 Gbps y 100 Gbps, "siendo la expectativa 1 Tb/s para el 2015" [8], respecto a los multiservicios las soluciones sobre ethernet permiten integrar en forma natural cualquier servicio y protocolo, desde interfaces E1 hasta 10 Gbps, pasando por SDH, ATM, MPLS o *fiberchannel* entre otros; por tales razones descartamos las alternativas de los modelos 1 y 2.

3.4.2 Análisis alternativas 3 y 4

Estas alternativas se analizan conjuntamente por cuanto usan la misma infraestructura de acceso, diferenciándose en el elemento de borde de cara al TO. En la alternativa 3 el elemento de borde es un SW multicapa (capas 2, 3 y 4 del Modelo OSI) y en la alternativa 4 es un router capa 3. Se hace necesario hacer un análisis de interoperabilidad en la red, centrándose principalmente en evaluar las características de manejo de multiprotocolos y perfomance de ambos elementos de red.

Los routers basan sus decisiones de enrutamiento en los diferentes tipos protocolos de red (L3), teniendo como beneficio proveer fronteras entre los segmentos de red ya que sólo envían tráfico que está dirigido hacia ellos, eliminando la posibilidad de tormentas de *broadcast*, protocolos no soportados, proveen la transmisión de paquetes incluyendo los destinados a redes desconocidas, seleccionan el camino para remitir los datos basados en la métrica (número de saltos, velocidad, costo de transmisión, retardo y condiciones de tráfico) de las rutas, adicionalmente tienen la capacidad de implementar políticas de seguridad y de utilización del BW. No obstante si bien el *routing* cuenta con los atributos mencionados hay que tener en cuenta que todos estos procesos reflejan un incremento en la latencia y reducen el rendimiento al procesar los paquetes, lo cual repercute en la necesidad de un aumento de capacidades de *hardware* en los elementos enrutadores para compensar estos inconvenientes.

Un *switch* L3 funciona en L3 similar a un router, la diferencia es que el *switch* realiza sus tareas con chips especializados para que la conmutación de tramas y *routing* de paquetes se haga lo más rápido posible, esto se le conoce como *wire-speed*. Hoy en día el *switching* a nivel *carrier* hace referencia un SW multicapa que integra *routing* y *switching* para producir altas velocidades (medidas en millones de paquetes por segundo), esta es una tecnología a la cual también se refieren como: *tag switching o Fast* IP, etc. Un switch L3 es un switch L2 que utiliza la información del encabezado de capa 3, similarmente un switch L4 es un switch L3 que procesa el encabezado de la capa 3, también son conocidos como *switches* sin capa LLS (*Layer Less Switches).*

Los SW L2/L3/L4 trabajan en modo *Packet-by-packet (*PPL3) ó C*ut-through* (CTL3). Ambas modalidades examinan todos los paquetes y los envían a sus destinos, la diferencia real entre ellos es el rendimiento. PPL3 enruta todos los paquetes, en tanto que en CTL3 efectúan la entrega de paquetes mirando el destino del primer paquete en una serie y una vez que lo conoce, establece una conexión y el flujo es conmutado en capa 2, estos switches realizan la construcción y mantenimiento de la tabla de enrutamiento usando IS-IS u OSPF y el envío de paquetes una vez que el camino es determinado. Los paquetes son enviados a su dirección destino y el TTL (*Time-To-Live*) es decrementado, las direcciones MAC son resueltas y el *checksum* IP es calculado, incluyen servicios de traslación de paquetes, priorización, autenticación, filtros, etc.

Por otra parte en los encabezados de los paquetes incluyen direccionamiento de capa 2 y 3, como TTL (*Time to Live*) y *checksum,* también información relevante en las capas superiores, como el tipo de protocolo de capa 4 (UDP, TCP, etc.) y el número de puerto (valor numérico que identifica la sesión abierta en el *host* a la cual pertenece el paquete). "La información del encabezado de capa 4 en el *switch* permite clasificar de acuerdo a secuencias de paquetes manejados por aplicación denominados flujos" [2], esto permite priorizar servicios y garantizar BW, siendo capaces de manejar bien la congestión ya que hace la clasificación por flujos manejando una cola[8] por cada uno de ellos.

Las características principales de los SWs de capa 4 son:

[8] Colas: Las tendencias actuales de encolamiento son: PQ (*Priority Queueing*): Define 4 colas con prioridad alta, media, normal y baja, se determina los paquetes que van a estar en cada cola. WFQ (*Weighted fair queuing*): Divide el tráfico en flujos, proporciona un BW a los flujos activos en la red, los flujos con poco volumen de tráfico son enviados más rápido. CQ (*Custom Queueing*): Asigna un porcentaje de BW disponible para cada tipo de tráfico (voz, video y/o datos) y especifica el número de paquetes por cola que son atendidas según *Round Robin*, asignando el BW a cada uno de los tipos de tráfico.

- Arquitectura basada en c*rossbar* que provea priorización por flujos porque tienen un esquema de *buffering* de planificación compleja que permiten el manejo de QoS.
- Manejo de memoria compartida y cola de salida, capaces de manejar múltiples niveles de prioridades y usar algoritmos para manejar los eventos cuando el número de flujos excede el número de colas disponibles.
- Administración de colas por flujos capaz de garantizar ancho de banda y manejar la congestión en forma óptima, haciendo la clasificación por flujos utilizando una cola por cada uno de los flujos.

Considerando el caso específico de la alternativa 3 (FIGURA 3.8), en la que se propone la utilización de elementos de red capas L2/L3/L4 como NB (Nodos de Borde), se detalla en la FIGURA 3.13 la estructura interna de un SW multicapa L2, L3 y L4, donde se aprecia que su capa 2 asumiendo el rol de switch de concentración SC o SWC de anillos ME permite conectar switches de distribución SD o SWD, manejando protocolos de encaminamiento L2 como son: PPPoE, PPPoA, VLANs, L2TP, VLL, VPN L2, VPLS, MPLS, comunicaciones punto a multipunto, multicast y VRFs con QoS (que se describe en la sección 4.2.10).

Internamente el SW multicapa L2, L3 y L4 mediante su capa 3 permite asumir el rol de router de concentración RC con lo que además de brindar conectividad hacia el núcleo IP llamado también *Core Network* o *Backbone,* puede concentrar routers de agregación BRAS/NISIP así como proporcionar conectividad a servidores p.e.: VoD (*Video on demand*), cabeceras de video (*Head End*) u otros servidores de servicios, manejando protocolos de enrutamiento L3 como son: RIP, iBGP, eBGP. OSPF, IS-IS, estático, y funcionalidades MPLS, VPN L3 y VRFs entre otras.

Adicionalmente la estructura interna del SW multicapa L2, L3 y L4 mediante su capa 4 permite el manejo de servidores especializados como es el caso del *cache* (ver FIGURA 3.13) para mejorar la perfomace de los servicios ofrecidos y optimizar los parámetros de calidad QoS (*Quality of Service* - Calidad de Servicio) que se describe en la sección 4.2.10), mejorar el SLA (*Service Level Agreement* – Acuerdos de nivel de servicio) y permitir brindar una mejor QoE (*Quality of Experience* - Calidad de Experiencia) descrita en sección 4.3.2 (ver anexo I). En el ANEXO F se detallan mayores características y especificaciones técnicas de estos switches multicapa.

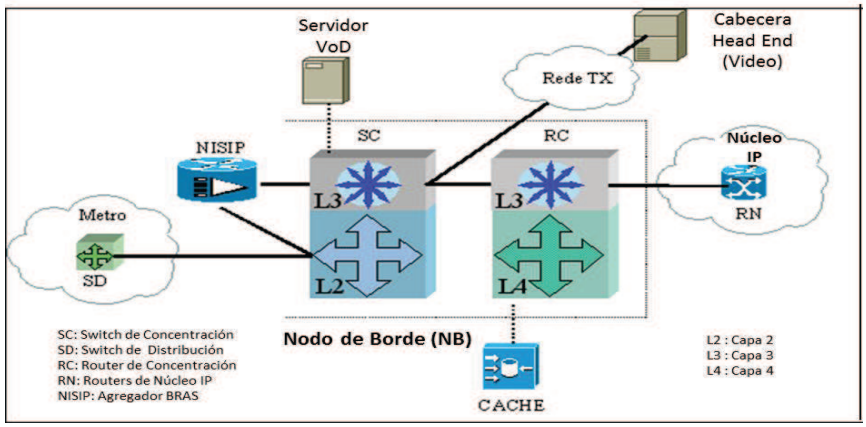


FIGURA 3.13 ESTRUCTURA E INTERCONEXIÓN SWITCH L2/L3/L4

(Fuente: Elaboración propia)

Desde el punto de vista de encapsulación la tecnología de switches L2/L3/L4 permite etiquetar MPLS sobre IP, es decir encapsular los paquetes IP con etiquetas MPLS y a su vez etiquetar ethernet sobre MPLS, es decir encapsular MPLS con cabeceras ethernet, con lo cual desde el punto de vista de pilas de protocolo IP (capa 3), MPLS (capa 2/3) y ethernet (capa 2), se está trasportando IP sobre MPLS o también MPLS sobre ethernet (ver FIGURA 3.14 y 3.15).

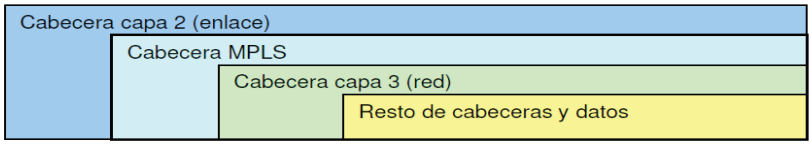


FIGURA 3.14 CAPA DE PROTOCOLO MPLS

(Fuente: Elaboración propia)

Teniendo en cuenta las consideraciones descritas es necesario diseñar bien la ubicación de éstos SWs multicapa en la red, por lo que debemos considerar las siguientes premisas:

- Colocar los s*witches* L2/L3/L4 en puntos de concentración de la red o como soporte de *backbone* para eliminar la saturación en puntos críticos de la red.
- Considerar que tengan *buffers* con capacidades mayores de 1000 paquetes por puerto para enviar millones de paquetes por segundo en la capa 3.
- Limitar los dominios de colisión de usuarios para evitar retardos excesivos.
- Al trabajar con soporte de VLANs/S-VLAN se debe tomar en cuenta que la comunicación *inter*-VLAN mayormente realizada en L3, puede convertirse en un "punto de saturación" conforme la red va creciendo.

- Considerando lo enunciado en el punto anterior conviene descentralizar el encaminamiento/conmutación/enrutamiento en un SW L2/L3/L4 ubicado en el borde, que para nuestro caso se constituye en el denominado Nodo de Borde (NB) tal como se ha mostrado en la FIGURA 3.13.

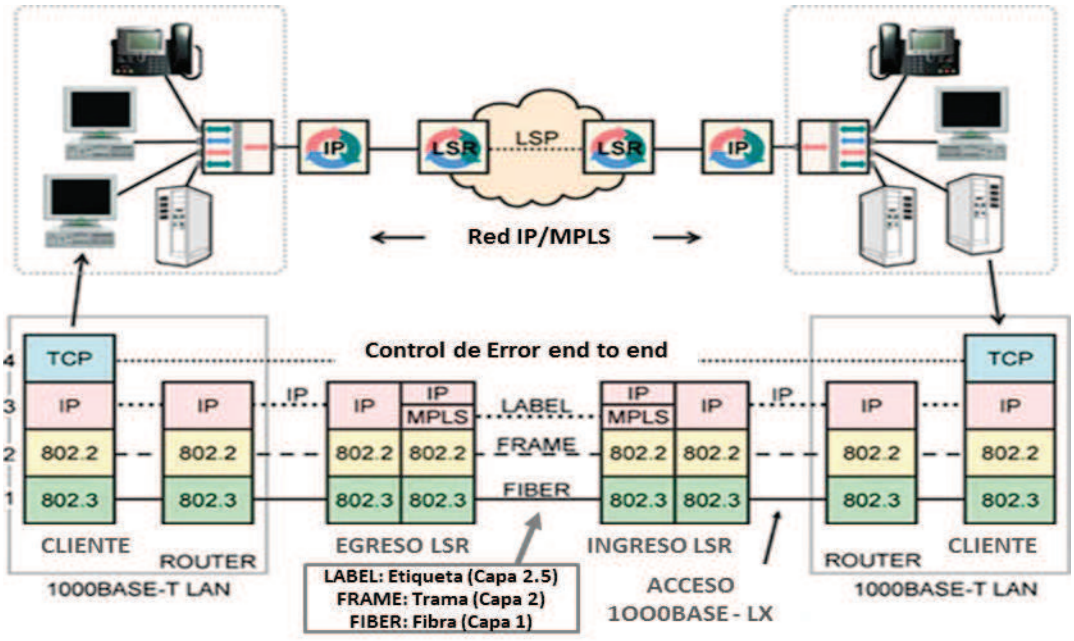


FIGURA 3.15 DETALLE PILA DE PROTOCOLOS
(Fuente: MPLS *Forum*)

Bajo el enfoque descrito concluimos que las tecnologías de *routing y switching* no son antagónicas sino por el contrario se han llegado a complementar (caso de los *switches* multinivel), dando origen a elementos de red "mejorados" que buscan el incremento del rendimiento, disminución de la latencia y escalabilidad en ancho de banda y además con nuevas funcionalidades para la asignación de prioridades, seguridad y configuración de filtros entre otros.

La alternativa 3 propone que las redes de transporte deben moverse hacia un modelo formado por redes IP/MPLS (*Internet Protocol/ Multiprotocol Label Switching*) de altas prestaciones interconectadas en un entorno de interoperabilidad entre redes de acceso ME de capa 2 con redes core IP/MPLS de capa 3 y VRFs con funciones VPN de enrutamiento y encaminamiento (*Layer 2 forwarding protocol*), bajo ese entorno esta opción considera que el elemento de red debe operar en base a manejo de multicapas L2, L3 y L4 con políticas para encaminar los paquetes a distintas VPNs sobre SWs multicapa, la interoperabilidad de VRF está garantizada bajo el cumplimiento de los estándares para el manejo de los enrutadores virtuales y sus instancias de tablas de

enrutamiento de capa de red, por lo que esta opción es atractivamente interesante para su despliegue para la atención de usuarios de BA sobre la red *Core* IP/MPLS residencial de TdP, por lo que la alternativa 3 es perfectamente válida para el objetivo propuesto de implantación del modelo.

La alternativa 4 si bien también implementa una solución de reenvío VRF seleccionando una interfaz específica para enrutar paquetes a diferentes redes privadas virtuales VPN de capa 3 basada en la dirección IP de origen del paquete con el soporte de routers de borde RB, en el análisis previo sobre la latencia de tecnologías de *routing y switching,* a la suma de retardos temporales dentro de una red que se producen en el proceso de selección de las mejores rutas, se presentó el inconveniente que en el caso particular de TdP la capilaridad de RB (no es lo mismo que routers agregadores BRAS/NISIP) es baja a nivel nacional en la red IP/MPLS residencial de TdP.

De otro lado TdP cuenta con una alta capilaridad de RB (conocidos como PEs en el ambiente de red MPLS) en el entorno de su red IP/MPLS empresarial, sin embargo como se menciona más adelante en el análisis de la alternativa 6 respecto al mercado de aplicación o alcance de la red IP/MPLS empresarial, esta red IP es mayormente orientada a zonas urbanas exclusivas y comerciales o de negocios, por lo que esta delimitación de cobertura hace que la alternativa 4 que técnicamente es idónea, no sea una solución adecuada para una penetración a nivel nacional, por lo cual se le descarta.

3.4.3 Análisis alternativa 5

La alternativa 5 fue pensada por su capilaridad de llegada a las áreas urbanas y en especial a áreas remotas más alejadas, sin embargo por la estructura estática de la red, el modelo presenta poca escalabilidad y de otro lado por la rigidez de los circuitos PDH/TDM se determina que consume elevados recursos de O&M para la trasmisión.

La ampliación de estos circuitos *"legacy"* y repuestos por ser una tecnología antigua se encuentran en el mercado a altos costos lo cual a la larga incrementaría los costos operativos, por lo cual también se descarta esta alternativa.

3.4.4 Análisis alternativa 6

Esta alternativa desde el punto de vista de infraestructura de red IP/MPLS basada principalmente en routers de la red empresarial es una opción válida, no obstante el inconveniente que presenta esta red moderna es que si bien, en cuanto a routers de

borde tiene una mayor capilaridad que la red IP/MPLS residencial en las áreas urbanas, su capilaridad en las zonas rurales es muy baja, por lo que no contaría con infraestructura necesaria para atender puntos de acceso en las zonas marginales, requiriendo hacer inversiones adicionales importantes.

Otra razón de peso es en el tema de seguridad del cliente empresarial, en el sentido que a pesar de la tendencia de convergencia de redes y servicios, es política de TdP mantener redes independientes para servicios residenciales y servicios empresariales, para garantizar la integridad y minimizar riesgos operativos por fallas en los servicios de grandes clientes corporativos., razones por las cuales se descarta esta alternativa.

3.4.5 Alternativa seleccionada como modelo propuesto de acceso BA

Las tareas que debe desempeñar un NB o RB están en un entorno de red Ethernet – VPLS y red IP - MPLS, en donde dentro de una red de capa 2/3, los protocolos VPLS y MPLS (ubicados entre las capas 2 y 3 del modelo OSI) se hace la función de portabilidad de tecnologías de L2 a L3 (no limitado exclusivamente a ningún protocolo L2 o L3), emulando servicios de capa 2 sobre una infraestructura de capa 3, mediante el etiquetado en cabecera capa 2.5 "*label switching*" (antes de la capa 3) para permitir servicios de encaminamiento para múltiples protocolos. Siendo así, entre los NB o RB se deben establecer VPNs para enrutamiento y+ encaminamiento (*L2 forwarding protocol*) y VRFs las mismas que se deben extender hacia los agregadores BRAS/NISIP que son los elementos que reciben las conectividades de los SWs concentradores de los DSLAMs.

Ahora si bien los routers manejan nativamente las funcionalidades de VPN capa 3 y VFRs, considerando el entorno descrito y que a mediano plazo (ver secciones 4.5.1 y 4.5.2) la red debe soportar una arquitectura de VPN L2 y VPLS entre los SWs de distribución y los SWs de concentración para interactuar con las VLANs de los DSLAMs (ruteo entre VLANs con MSTP y QoS en L2) compartiendo los mismos *pools* de red virtual; por ejemplo para el mapeo L2 VLAN – VPN (*L2 forwarding protocol*) o encaminamiento de múltiples VLANs y VPLS sobre VRF, los SWs de capa L2/L3/L4 ofrecen menor latencia en la red para el manejo de estas funcionalidades.

De otro lado es necesario que los elementos de borde de red (NB o RB) tengan alta densidad de puertos para VLAN con una alta velocidad de *switching* de tramas L2 (por *hardware*) y además de sus funcionalidades para WAN cuenten con manejo excepcional de módulos para emular funcionalidades extendidas para LAN.

Los equipos L2/L3/L4 de TdP que permiten soportar la alternativa 3 son los equipos Quidway NE40E o series NE80E de marca Huawei, teniendo como equivalentes[9] en Cisco los equipos *Catalyst* 6500, ME 6500 ó Nexus serie 7000 con licencia (por sesiones) para MPLS y por el lado de Juniper los equipos de la serie M40e o agregador serie E120.

Para profundizar más en contrastes numéricos se requiere equipo especializado de mediciones y analizadores complejos que utilizan los fabricantes, los cuales no se pudieron disponer así como tampoco de libre acceso a las salas de equipos en operación por temas de seguridad, por lo que para elegir la opción que presenta el mejor desempeño se ha comparado las tecnologías presentadas tanto las basadas en ATM como las más relevantes en IP, teniendo en cuenta primordialmente aspectos cualitativos extraídos de la bibliografía, características, especificaciones técnicas (ANEXO F), *brochures* de equipos (ANEXO L) y tendencias o prospección tecnológica.

Por las razones mencionadas es altamente recomendable para este entorno el uso de Nodos de Borde (NB) basados en SWs capa L2/L3/L4, en ese sentido y de acuerdo con lo descrito en los párrafos precedentes se selecciona la alternativa 3 que utiliza Nodos de Borde (NB) cuyo diseño y configuración se describe en el capítulo 4, en la TABLA 3.1 se muestra el resumen de la comparación cualitativa de las alternativas evaluadas.

ALTERNATIVAS DE ACCESO A TERCER OERADOR						
Tecnología/Alternativa	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ATM	**SI**	**SI**	**NO**	**NO**	**NO**	**NO**
Capa 2	**SI**	**SI**	**SI**	**SI**	**SI**	**SI**
Capa 3	**NO**	**NO**	**SI**	**SI**	**NO**	**SI**
Manejo capa 3 sobre capa 2	**NO**	**NO**	**SI**	**SI**	**NO**	**SI**
VPLS	**NO**	**NO**	**SI**	**NO**	**NO**	**NO**
VSI	**NO**	**NO**	**SI**	**NO**	**NO**	**NO**
Enrutamiento	**NO**	**NO**	**SI**	**SI**	**NO**	**SI**
MPLS	**NO**	**NO**	**SI**	**SI**	**NO**	**SI**
VRF	**NO**	**NO**	**SI**	**SI**	**NO**	**SI**
> Eficiencia conmutación	**NO**	**SI**	**SI**	**NO**	**NO**	**NO**
> Capilaridad en TdP	**SI**	**NO**	**SI**	**NO**	**SI**	**NO**

TABLA 3.1 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ACCESO A TO
(Fuente: Elaboración propia)

[9] No se ha considerado como alcance de la presente tesis evaluar y seleccionar equipos nuevos de diferentes marcas y tecnologías para la red de TdP dado que se aprovecha los equipos existentes en TdP, sin embargo se mencionan equipos similares en marca Cisco y Juniper para evaluación de los interesados.

3.5 Análisis modelos de red IP, VPN y servicio AAA

3.5.1 Modelos de red IP

Tomando como referencia el modelo de la alternativa 3 seleccionado que utiliza NB se analizan las opciones de servicio de red para la interconexión lógica entre el BRAS/NISIP y el NB presentándose los siguientes modelos de servicios de red: IP Plano, L2TP y VPN.

3.5.1.1 IP Plano

Constituye en un ruteo convencional en un solo plano lo cual es poco escalable.

3.5.1.2 L2TP

Genera túneles en L2 requiriendo alto procesamiento para interactuar con L3.

3.5.1.3 VPN

Permite interworking y virtualización de elementos de red que lo hace seguro.

3.5.1.4 Modelo de red IP seleccionado alternativa propuesta acceso BA

De estos 3 modelos presentados se selecciona el modelo de servicio de red VPN por las siguientes razones:

- La red de agregación y transporte de BA de TdP está siendo migrada a tecnología IP/MPLS.
- Es más escalable ya que los cambios y actualización de red se realizan en los agregadores BRAS/NISIP.
- No hay interacción directa a nivel de red con los DSLAMs por lo que es transparente.
- Utilizan la mayoría de los procedimientos de provisión y velocidades comercializadas en el servicio actual *Speedy* de TdP por lo que no requiere de complicar los procedimientos existentes.

3.5.2 Modelos de red VPN

Dentro de este modelo de servicio de red VPN seleccionado, se tiene a su vez 3 opciones de creación de modelos de servicio VPNs que se puede usar para atención de los TO, los cuales se indican líneas abajo y se describen en las secciones sub siguientes.

- *Hub & spoke*.
- *Full mesh*.
- *Hybrid* IP/MPLS.

En todos los casos los servicios de red VPN deben ser desde los equipos NB L2/L3/L4 hacia los agregadores y del NB hacia el router de acceso al centro de servicios de TdP.

3.5.2.1 VPN Hub & Spoke

"En una topología *Hub and Spoke* todas los elementos de red *spokes* envían todo el tráfico que quieren intercambiar entre ellas hacia un elemento central que actúa como *Hub,* esta última distribuye el tráfico que le llega hacia sus destinos según sus políticas de ruteo" [12]. En un entorno *Hub and Spoke s*e configura la VPN de tal manera que todos los sitios puedan accesar un único sitio central, mayormente se usa esta topología de red para VPN cuando se tiene un acceso Internet centralizado, *firewalls*, "granjas de servidores", etc., todo ello situado en la sede central, de ahí que sea esta sede la que actúe como *hub*. En cualquier caso cuando se implementa esta topología de red para una VPN/MPLS es necesario que la sede que actúa como *hub* conozca todas las rutas para poder llegar a todos y cada uno de los *spokes* que pertenecen a esa VPN.

Con esta topología (que se muestra en la FIGURA 3.16) .se asegura que todo el tráfico que se genere entre *spokes* pase siempre por el *hub*. Esto se hace mediante los atributos RT (*Route Target)* y RD (*Route Distinguiser)* entre los *peer* VPN, normalmente no debe existir conectividad directa entre *spokes* sino que solo tendrán conectividad con el *hub* y este último tendrá conectividad con todos, manejando todas las tablas de rutas y de la VRF de la VPN a la que pertenecen el *Hub* y los *Spoke.*

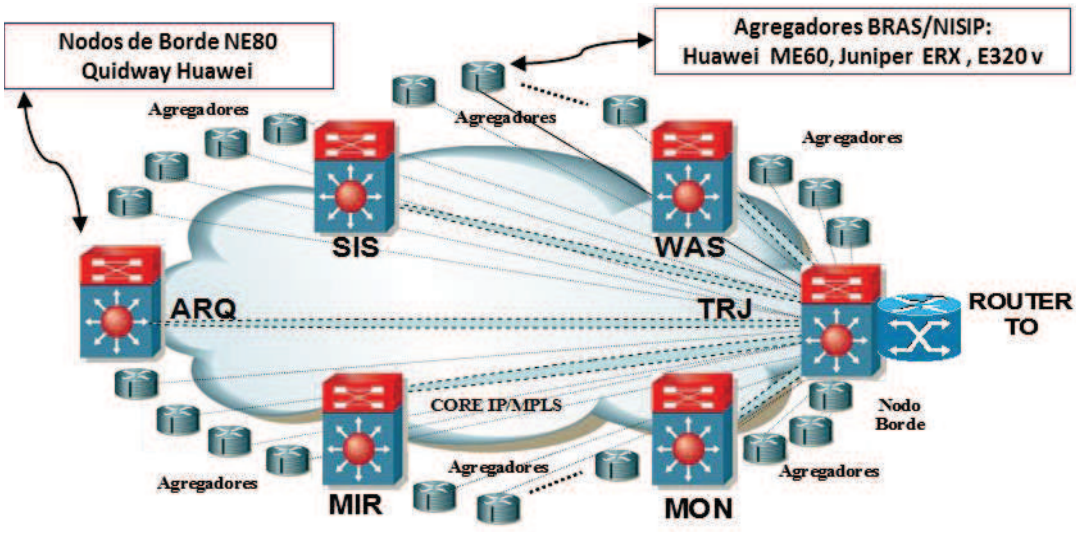


FIGURA 3.16 MODELO HUB & SPOKE
(Fuente: Elaboración propia)

Esta combinación de VPN *Hub and Spoke* es una forma de compartir y transmitir información entre un círculo cerrado de usuarios que están situados en diferentes localizaciones geográficas, manejándola de manera segura en una infraestructura fiable

y de bajo costo que satisface las necesidades de comunicación de cualquier operador de telecomunicaciones, debido a esto existe la posibilidad de que el router con la funcionalidad de *hub* en esta topología de red pueda sufrir algún tipo de incidencia que lo pueda dejar fuera de servicio por lo que se tiene que tomar consideraciones de *backup* o redundancia.

3.5.2.2 VPN Full Mesh

"Una topología *Full-Mesh* se define cuando cada nodo de la red tiene conectividad directa con el resto de nodos de la red" [12], mayormente estas topologías se implementan en el *backbone* de la red. Se configura una topología *Partial-Mesh* cuando solo algunos nodos de la red tienen conectividad directa con el resto de nodos de la red, es decir, algunos de los nodos tendrán conectividad directa con el resto de nodos y otros solo estarán conectados a 1 ó 2 nodos en la red de forma directa.

Una topología *Partial Mesh* normalmente se implementa en redes de acceso que a su vez están conectadas a redes con topología *Full-Mesh* (Ver FIGURA 3.17). Hay que hacer notar, que una topología en *Full-Mesh* lleva inherente un alto costo debido al gran número de enlaces que son necesarios para su implementación.

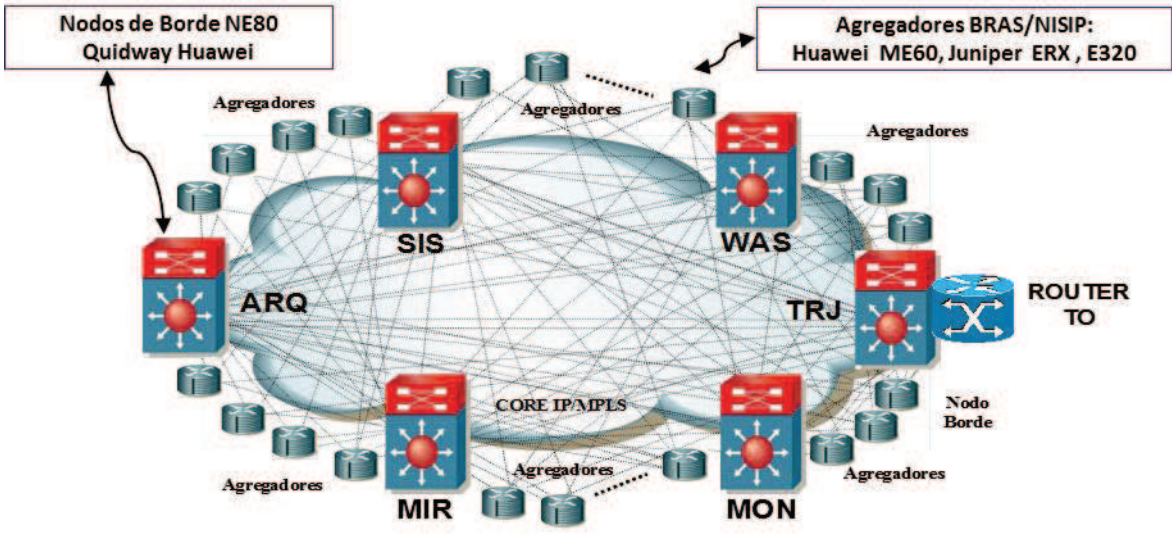


FIGURA 3.17 MODELO FULL MESH
(Fuente: Elaboración propia)

No en todos los casos se puede implementar cualquier tipo de topología de red por motivos estructurales de la red, distribución de elementos de la misma, tipo de aplicaciones y servidores utilizados y su disposición en los distintos PoPs (puntos de presencia). Por los costos que pueden involucrar la implementación o no de un tipo de

topología de red determinado, en muchos casos, se busca soluciones topológicas combinadas para implementar un servicio de VPN en la red.

3.5.2.3 VPN Hybrid IP/MPLS

Es una topología de red híbrida que combina las diferentes topologías para recoger las ventajas de ellas en una única red y es común en grandes redes WAN, normalmente cuando se implementa el servicio VPN sobre una red de grandes dimensiones lo que se hace es combinar diferentes tipos de esquemas de red, es decir se puede usar una topología *Hub and Spoke* sobre una topología parcialmente o totalmente mallada, la arquitectura del *backbone* es transparente de cara a los diferentes elementos de la red.

Para evitar costos innecesarios se configura la parte de acceso al *backbone* con una topología *Hub and Spoke* y el propio *backbone* con una topología parcialmente mallada dependiendo del número de elementos capa 3 que lo formen y el número de enlaces que sean necesarios conformando de esa manera un modelo hibrido como una VPN global para todos los elementos de red involucrados, en la FIGURA 3.18 se muestra de una forma esquemática este modelo de VPN.

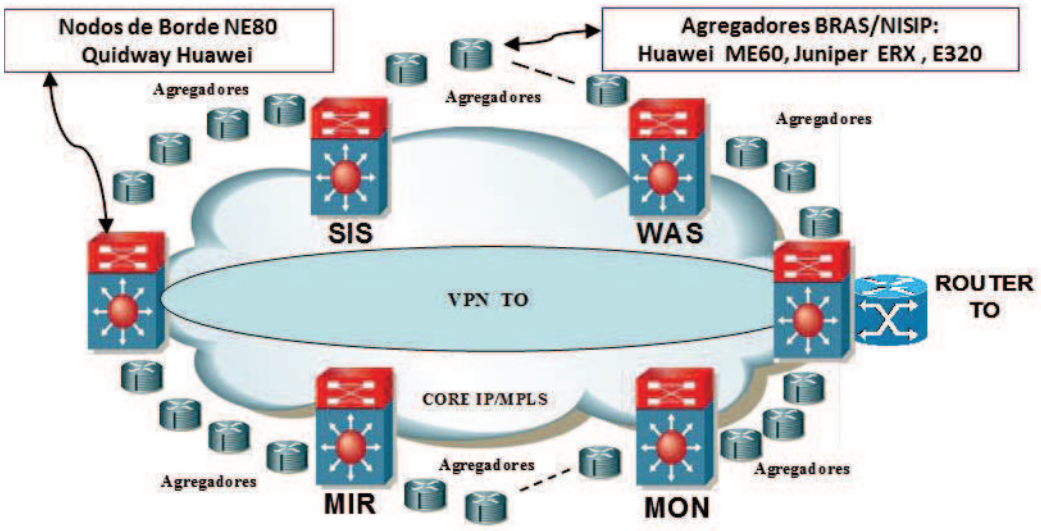


FIGURA 3.18 MODELO HIBRIDO IP/MPLS
(Fuente: Elaboración propia)

La implementación de este modelo aporta menos complejidad en la red y permite ahorrar costos de implantación. Existen múltiples combinaciones de topologías de red y se usa la que más se adecue a las necesidades económicas y de red en cada caso específico.

3.5.2.4 Modelo de VPN seleccionado alternativa propuesta acceso BA

Desde el punto de vista técnico cualquiera de los modelos puede ser utilizado, no obstante por sus menores costos de implantación y mayor facilidad de configuración se selecciona la opción del modelo de servicio VPN Híbrida IP/MPLS. Las configuraciones en la red de TdP se deben realizar mediante plantillas que incluyan las VRFs para cada TO en todos los agregadores BRAS/NISIP de capa 3 y a partir de allí configurar las VPN en todos los NB (SWs L2/L3/L4) conectadas directamente al *core network* IP. La configuración se realiza por comandos de línea CLI ya que los sistemas gestores NMS (*Network Manager System*) si bien en algunos casos permiten la configuración por interfaz gráfica GUI, son demasiados caros para ser adquiridos para todos los equipos.

3.5.3 Modelos para el servicio AAA

Debido a que se plantea el aprovechamiento de la infraestructura de TdP para minimizar costos para las modalidades del servicio AAA, el protocolo propuesto es el utilizado en los equipos existentes de TdP basados en protocolo RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Server*) con soporte para DIAMETER como es el caso de los equipos servidores AAA NAVIS RADIUS 8950 v8 de ALU (Alcatel-Lucent).

El RADIUS se usa a gran escala habiendo demostrado ser una opción viable de AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*), no obstante tiene menor escalabilidad respecto al nuevo protocolo DIAMETER, lo que sería una desventaja para redes muy grandes, razón por lo que a corto plazo TdP tiene previsto migrar sus servicios de AAA a "tecnología DIAMETER"; sin embargo a pesar de las mejores capacidades de éste nuevo protocolo, requiere menos complejidad para ser perfecto ya que una de sus desventajas es su dificultad de O&M en comparación con RADIUS.

De otro lado dado a que su extensibilidad de atributos satisface requerimientos más allá de las funcionalidades AAA que sobre pasan los objetivos planteados en el presente trabajo, por sus costos de consumo de recursos en los servidores no se le ha considerado en el presente estudio. No obstante cabe comentar que en la red Móvil de TdP para la nueva tecnología LTE-ECP (*Long Term Evolution - Evolved Packet Core*) de celulares 4G se ha implementado el protocolo DIAMETER en sus equipos AAA 8950 de ALU (*upgrade OS software release*: 8.1.3). El RADIUS propuesto es un protocolo para AAA, autenticación, autorización y tarifación para aplicaciones de acceso a la red (utiliza el puerto UDP 1812) para establecer sus conexiones. Cuando se realiza la conexión con

un ISP mediante módem, DSL, cable módem, Ethernet o Wi-Fi, se envía una información que generalmente es un nombre de usuario y una contraseña.

Esta información se transfiere a un dispositivo NAS (*Network Access Server*) sobre el protocolo PPP (*Point to Point Protocol*), quien redirige la petición a un servidor sobre el protocolo RADIUS. El servidor comprueba que la información es correcta utilizando esquemas de autenticación como PAP (*Password Authentication Protocol*), CHAP (*Challenge Handshake Authentication Protocol*) o EAP (*Extensible Authentication Protocol*). Si es aceptado el servidor autorizará el acceso al sistema del ISP asignándole recursos de red tal como una dirección IP y otros parámetros como el L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*), etc. según el esquema de acceso que se presente.

Una de las características más importantes del protocolo RADIUS es su capacidad de manejar sesiones notificando cuando comienza y termina una conexión, así se determina el consumo del usuario y en consecuencia su facturación, los datos de los diferentes atributos se usan con propósitos estadísticos y para *troubleshooting*. RADIUS se publicó inicialmente como RFC 2138 y RFC 2139; posteriormente fue complementado en los RFC 2865 (autentificación y autorización) y RFC 2866 (*accounting*), las prestaciones pueden variar, pero la mayoría pueden gestionar los usuarios en archivos de texto, servidores LDAP *(Lighweight Directory Access Protocol*), bases de datos varias, etc., mayormente se utiliza SNMP (*Single Network Manager Protocol*) para monitorear remotamente el servicio.

Los servidores *Proxy* RADIUS se utilizan para una administración centralizada y pueden reescribir paquetes RADIUS por razones de seguridad o hacer conversiones entre lenguajes de diferentes fabricantes. Se tiene 3 modelos para el servicio de AAA para el acceso BA:

- Delegado.
- Selectivo.
- Dedicado.

Estas modalidades están .orientadas al entorno tarifario del usuario y operan bajo el paraguas del protocolo PPP, no es parte del presente estudio definir cada protocolo del paraguas AAA que es extenso, pero en las siguientes secciones se define el modelo de acceso y la forma de validación AAA planteada en la propuesta y que es básica en la capa de enlace TCP/IP para establecer la conexión a Internet de un cliente/usuario con

su proveedor de acceso a través de un módem ADSL y la red de acceso ATM o Ethernet (PPPoA o PPPoE); en nuestro caso específico para la alternativa 3 seleccionada sobre conexiones de BA sobre ethernet PPPoE.

El protocolo PPP facilita la autenticación mediante una clave de acceso .y la asignación dinámica de IP, los proveedores de acceso cuentan con un número limitado de direcciones IP y cuentan con más clientes que direcciones. Como no todos los clientes se conectan al mismo tiempo es posible asignar una dirección IP a cada uno en el momento en que se conectan al proveedor, conservándose esa dirección hasta que termina la conexión por PPP.

Su ubicación en la pila de protocolos se establece como: “aplicación (FTP, SMTP, HTTP y DNS), transporte (TCP o UDP), red (IP) y enlace (PPP)” [3]. Los estándares mayormente usados son: RFC 1334 (PAP - *Password Authentication Protocol*), RFC 1994 (CHAP - *Challenge Handshake Authentication Protocol*) método específico de autenticación PPP y RFC 2153 para extensiones PPP de los fabricantes.

Para la definición del modelo de AAA se debe tener en cuenta el análisis de las consideraciones técnicas que se indican líneas abajo, las mismas que impactan directamente sobre la red tanto del TO como de TdP.

- Si TdP maneja y asigna los *pools* IP y salida a Internet.
- Si TdP realiza proxy AAA y el TO valida. TdP debe provisionar las VPN's.
- Si la asignación es fija (reservada) para cada usuario (LDAP); pre-provisión de *pool* IP en RADIUS TdP.
- Si requiere *Proxy* RADIUS TdP - RADIUS ISP.
- Si el TO da el rango de direcciones; salida a Internet.
- Si TdP tiene que pre-provisionar en sus agregadores BRAS las VPN's y los *pools* de direcciones IP.
- Si se debe hacer sumarización en los agregadores.
- Si la autentificación es por el TO, siendo éste quien maneja y asigna sus IP para la autenticación.
- Si TdP hace *Proxy* RADIUS hacia el RADIUS/LDAP del TO; al validarse el usuario del TO éste asigna las IP vía su RADIUS.
- Si hay doble validación (TdP y TO), TO con RADIUS delegado; si la dirección IP y la cuenta la entrega el TO.
- Si la asignación IP se haría a nivel de atributos vía RADIUS /LDAP.

- Si en el servidor DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) y modem *bridge* (sin autentificación) se requiere configurar en el agregador BRAS/NISIP de TdP funciones de autentificación.

3.5.3.1 Delegado

La opción de validación de acceso BA delegado se soporta en los protocolos RADIUS y PPPoE, basándose particularmente en tarifas por paquetes de cuentas de usuario, considerando el servicio extremo a extremo desde el módem hasta el acceso a Internet siendo la autenticación realizada en este caso específicamente por TdP y el acceso a Internet proporcionado por TdP, el TO o cualquier *Carrier* internacional, en la FIGURA 3.19 se muestra esta opción donde se observa que el switch de concentración SWC y el BRAS se conecta al NB. La autenticación delegada implica que la validación RADIUS la hace TdP y no el TO, ya que no hay conectividad entre los agregadores de TdP con el RADIUS del TO.

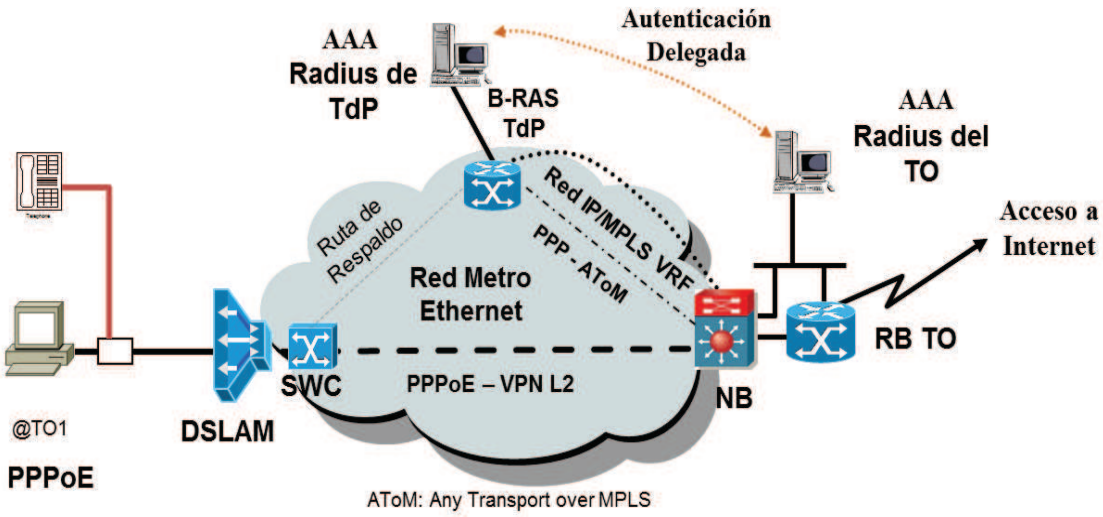


FIGURA 3.19 MODELO ACCESO BANDA ANCHA DELEGADO
(Fuente: Elaboración propia)

3.5.3.2 Selectivo

Este es una variante de la opción anterior de autenticación delegada con la diferencia que en este caso el usuario puede elegir para accesar a la red diferentes TOs en cualquier momento para lo cual requiere disponer de las cuentas de cada TO.

Esta opción de banda ancha selectivo también se soporta en protocolo RADIUS y PPPoE basándose en tarifas por paquete de cuentas de usuario y autenticación delegada e incluyendo el acceso xDSL a los TOs quienes deben disponer de su propio medio de salida a Internet. Este caso permite elegir cualquiera de los TOs que proporcionen

servicios de BA siempre y cuando se hayan registrado previamente como usuarios de los TOs a los que se hace referencia, en la FIGURA 3.20 se muestra esta alternativa.

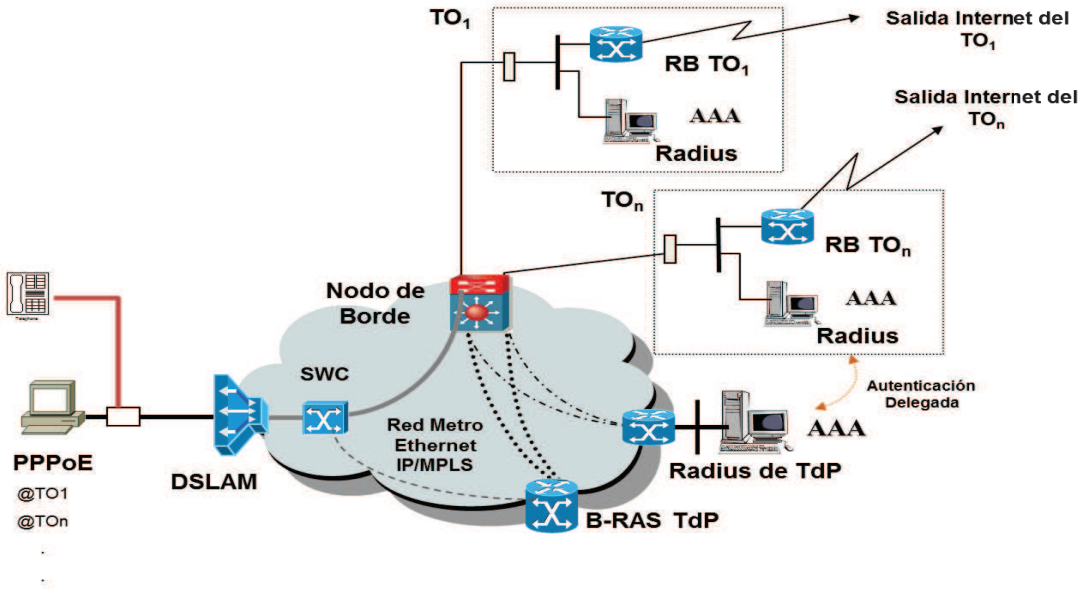


FIGURA 3.20 MODELO ACCESO BANDA ANCHA SELECTIVO
(Fuente: Elaboración propia)

3.5.3.3 Dedicado

Este modelo de validación de acceso BA dedicado se basa en tarifas por cuentas de acceso en donde la autenticación es realizada por el mismo TO vía RADIUS AAA con extensiones PPPoE con características de manejo de VPNs para autenticación, usuarios del TO controlados por velocidad y acceso con IP privados, dinámicos o permanentes, pudiendo ser la salida a Internet proporcionada el TO o cualquier *Carrier* internacional.

Para que el TO haga su propia validación se debe implementar proxy RADIUS para enrutar los mensajes RADIUS entre los servidores de acceso de los clientes RADIUS de TdP y los servidores RADIUS del TO que van a administrar directamente la autenticación de usuario, la autorización y las cuentas para los intentos de conexión. En este caso cuando se usa proxy RADIUS, TdP solo actúa como un punto de conmutación o enrutamiento central a través del cual fluyen los mensajes de acceso y cuentas RADIUS, no obstante para fines estadísticos y por seguridad TdP mantendrá un registro de cuentas de la información de los mensajes que se reenviaron en modo proxy.

En la FIGURA 3.21 se muestra los detalles de esta alternativa de validación de autenticación, autorización y contabilización del usuario final, se resalta la característica más importante de esta opción que es su particularidad de operar sobre red privada

virtual con lo cual se lleva el registro de los caudales de velocidad mediante los atributos RADIUS AAA.

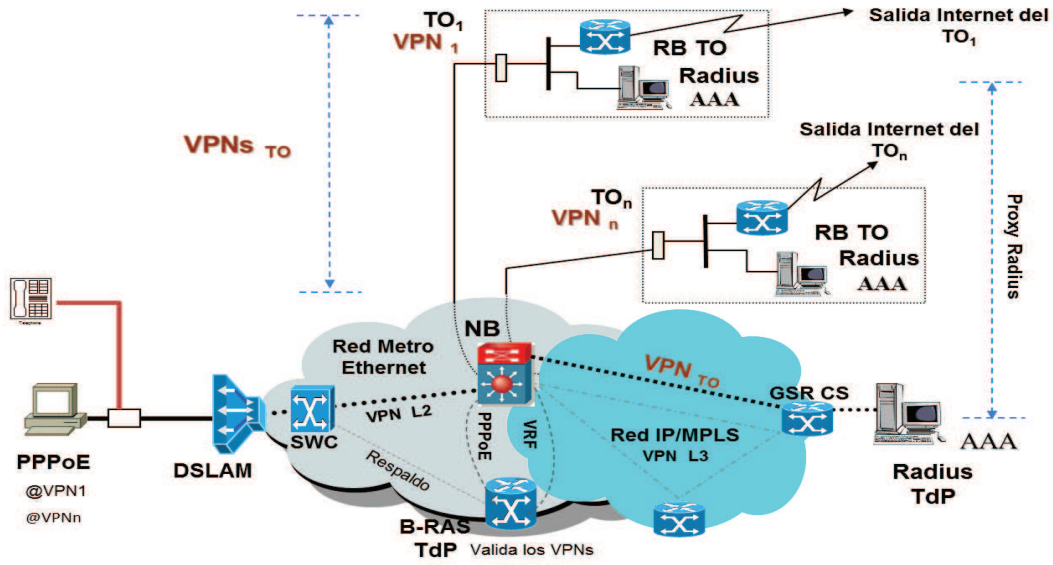


FIGURA 3.21 MODELO ACCESO BANDA ANCHA DEDICADO
(Fuente: Elaboración propia)

3.5.4 Modelo AAA seleccionado para la alternativa propuesta de acceso BA

Considerando la sección 3.5.3 y del análisis de las modalidades propuesta de AAA, validación PPPoE y direccionamiento IP para el servicio de BA se propone el modelo de acceso de BA dedicado, en donde el TO realiza su propia autenticación con la modalidad que al validarse el usuario del TO, TdP hace *Proxy* RADIUS hacia el RADIUS/LDAP construyéndose una VPN hacia cada TO para validarse, siendo el TO quien asigna las direcciones IP vía protocolo RADIUS; considerándose que la salida a Internet puede ser por cuenta del TO, pudiéndola contratar a TdP o a otro operador internacional.

Mayores detalles del diseño lógico para la autenticación AAA de la línea xDSL bajo el modelo seleccionado de acceso BA dedicado se describen en la sección 4.2.7 del capítulo 4: Diseño del Modelo de Red, donde se incluye el uso de acceso multi VLAN que se propone en el capítulo siguiente.

CAPITULO IV
DISEÑO DEL MODELO DE RED

En este capítulo se desarrolla el diseño de la red en la cual se presenta los criterios de ingeniería de diseño de redes abarcando la topología del modelo propuesto de conectividad y lógica de acceso, transporte y autenticación, incluyendo los aspectos de políticas de QoS, así mismo se presenta el perfil del modelo a ser aplicado a las localidades caracterizadas en el presente estudio.

Se muestran las plantillas de configuraciones de la red en los diferentes elementos de red que involucra la solución planteada y los requerimientos adicionales a tener en cuenta tanto por el lado del TO como por el lado del operador dominante, por lo que se incluye los parámetros de conectividad al CS[10] (Centro de Servicios) de TdP y las consideraciones para la provisión de los servicios del lado de usuario y del lado de red.

Además de considerar todos los requerimientos necesarios para la conectividad del TO se ha tenido en cuenta aspectos de evolución a futuro cercano de la red propuesta, en la que fundamentalmente se considera una extensión del uso de redes privadas virtuales con VRF bajo el concepto de MPLS *end-to-end* garantizando la calidad de servicio al usuario con la utilización de túneles virtuales exclusivos de extremo a extremo.

4.1 Topología de modelo propuesta.

Conforme lo descrito en secciones anteriores el modelo basado en red ATM brindado actualmente por TdP presenta situaciones o escenarios que se pueden mejorar sustancialmente, resaltándose que entre los considerandos más desventajosos en la tecnología ATM se encuentra el hecho el de ser poco escalable desde el punto de vista

[10] Centro de Servicios: El CS de TdP está constituido por diferentes granjas de servidores donde se centralizan los diferentes servicios que requieren las redes de TdP, tanto para las redes de Fija, Móviles como Empresas. Allí se encuentran los servidores de monitoreo de redes, DHCPs, AAAs, Firewalls, DPIs, IPS-IDS, *Signaling Gateways*, Contenidos, Aplicaciones y *Data Centers* (Bases de Datos) para la operación de las redes. El CS se encuentra redundado físicamente en dos “sites” más una estación satélite por temas de seguridad y alta disponibilidad.

de provisión o implementación (manejo de PVCs) incrementado los costos de operación de la red ATM.

Este modelo ATM implica crear una malla de circuitos virtuales lo cual cada vez se hace más difícil de gestionar a medida que la red vaya creciendo, de otro lado la tecnología ATM no solo ya no está evolucionando sino que está saliendo del mercado (tecnología en *phase out*) y los repuestos tanto de DSLAM ATM como de SWs ATM se están descontinuando lo cual impacta en los gastos de mantenimiento de la red ATM. Estos inconveniente impactan en el TO como una desventaja ya que se le aplica tarifas que no pueden bajar de costo (ver ANEXO A y ANEXO B), que si bien están reguladas y cuentan con respaldo legal, no se ajustan a una tecnología de punta y una realidad económica que promueva más el entorno competitivo en el sector.

Por tales razones en cuanto a tecnología, costos y prestaciones de servicios se propone el modelo (ver FIGURA 4.1) basado en xDSL, "acceso ethernet con evolución a VPLS con VSI desde el acceso" [15], NB con VRF con funcionalidades VPN *routing and forwarding* (*Layer 2 forwarding protocol*) en red IP/MPLS hacia los servidores de acceso remoto de banda ancha BRAS / NISIP (Nodos de Implementación de Servicios IP).

Las características principales del modelo indicado se resumen en las siguientes:

- Modelo de acceso BA asimétrico y simétrico (acceso ADSL/G.SHDSL).
- Utiliza DSLAM ethernet, anillos ME como plataforma de acceso a nivel nacional.
- Mapeo de PVCs por servicio desde el lado de usuario y mapeo VLANs a VLL por servicios para el lado de red de acceso, propuesta con evolución hacia VPLS.
- Los NB utilizan interfaces de 10G de frontera con el núcleo IP/MPLS y para conectividad con los BRAS/NISIP.
- Conectividad de respaldo PPPoE (Capa 2) para contingencia a la red de agregadores y RADIUS (1G para manejo de señalización).
- Las interfaces físicas con el TO son como mínimo en 1G (para minimizar costos).
- Servicio VPN híbrida con control IP/MPLS (VRF *Layer 2 forwarding protocol*).
- Modalidad de validación por el TO con autenticación por acceso BA dedicado, al validarse el usuario TdP hace *Proxy* hacia el RADIUS/LDAP del TO y es éste quien asigna sus IPs.
- La conectividad lógica entre el SWC y el NB es vía VPN (Capa 2) o VPLS/VSI.
- La conectividad lógica entre el NB y el BRAS/NISIP es vía VPN (Capa 3) o VRF.
- *Interworking* VPN L2 y VPN L3 con mapeo de VSI-VRF.

- La conectividad entre el NB y el RB del TO puede ser ruta estática, IGP o BGP.
- La topología de salida a Internet es por la red propia o alquilada del TO a otro operador internacional.

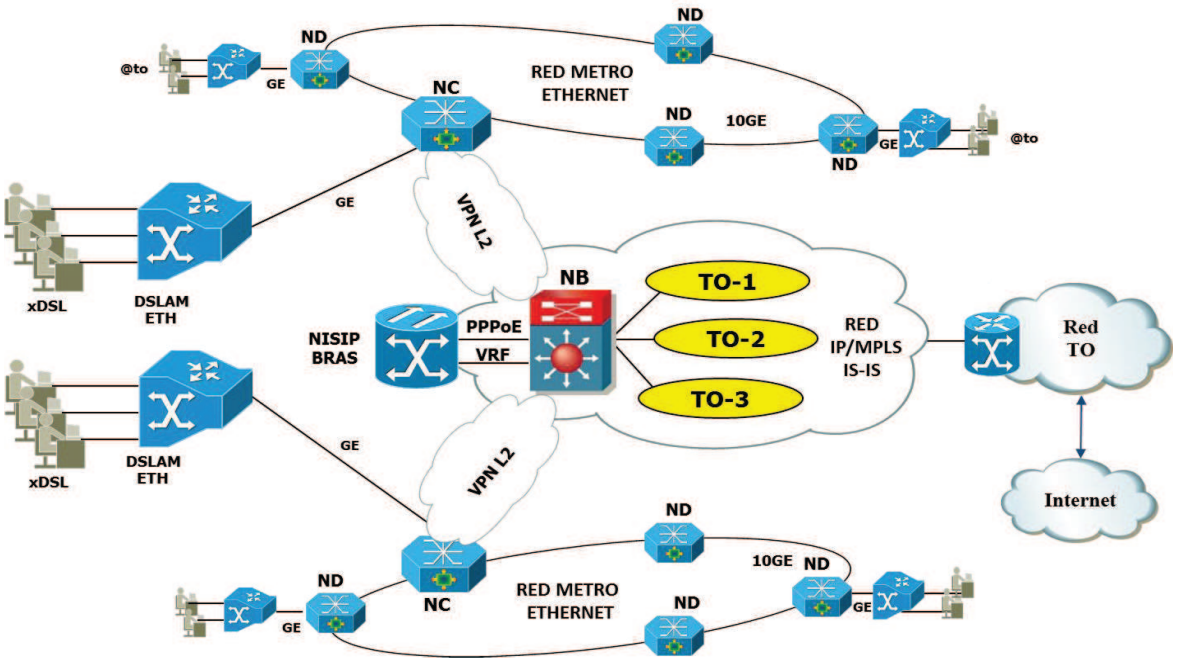


FIGURA 4.1 MODELO TOPOLÓGICO ACCESO BA xDSL IP/MPLS
(Fuente: Elaboración propia)

4.2 Criterios de diseño de la red

Primeramente analizamos la situación actual y luego proponemos las mejoras.

4.2.1 Acceso y transporte L2 actual

El modelo de red en la cadena de acceso PPP, tiene 2 modalidades, la conectividad L2 ATM que continua usando TdP (ver FIGURA 4.2) y se mantendrá hasta que se concluya totalmente con la migración a Ethernet para el acceso a TO y la conectividad L2 ME (FIGURA 4.3) que TdP viene introduciendo para su servicio Speedy residencial (según se detalla en las secciones 4.2.2 y 4.2.3 subsiguientes) y que con las mejoras que se recomiendan de uso de un PVC (sección 4.2.4) por servicio y mapeo VLAN – VLL con prospección a VPLS (sección 4.5), se propone mandatoriamente que esta opción sea la única que debe manejarse para el acceso de usuarios de TOs.

Adicionalmente respecto a este aspecto de conectividad ME en capa 2, en las secciones 4.2.5 y 4.2.6 se describen y proponen otras mejoras al esquema que actualmente TdP está desplegando.

4.2.1.1 Conectividad actual L2 ATM

- DSLAMs con Interfaz ATM para concentración de mini DSLAMs ATM.
- Utilizan una red ATM con transporte PVI/VCI/PVC para conexión al BRAS.
- 735 DSLAMs ATM a nivel nacional (Febrero 2014).
- Propuesta de congelamiento total para ATM y total migración a Ethernet.
- Amplio despliegue en provincias donde se tiene BA limitada (E1s IMAs).

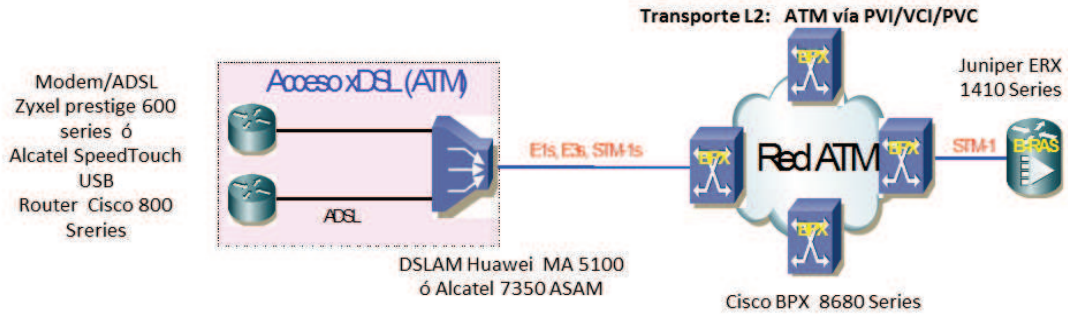


FIGURA 4.2 MODELO ACCESO Y TRANSPORTE L2
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.1.2 Conectividad actual L2 Metro Ethernet

Características de la red ME de TdP:

- DSLAMs con Interfaz Giga ethernet.
- Utilizan la red ME con VLANs para el transporte hacia los BRAS.
- 1564 DSLAMs ethernet a nivel nacional. (Febrero 2014).
- Empleo de interfaces de FE y GE, uso de 10GE para una mayor agregación.

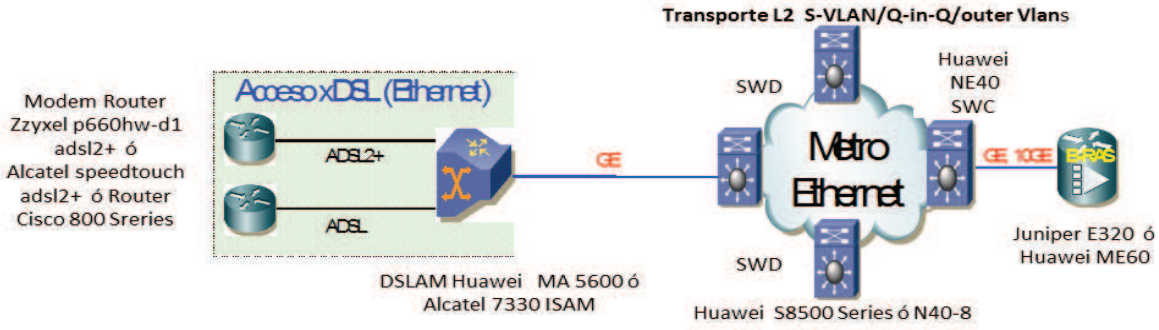


FIGURA 4.3 MODELO CONECTIVIDAD L2 METRO ETHERNET
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.2 Topología actual de acceso al núcleo IP

El esquema actual de TdP para atender el tráfico demandado por los servicios de BA, incluyendo "3-*Play*" proveniente de los DSLAMs permite el acceso a los anillos de la red ME, agregadores BRAS/NSIP y núcleo IP sobre la base de la arquitectura mostrada en la

FIGURA 4.4, donde “el concepto *triple play* se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales de: voz, banda ancha y televisión” [4]. El SWC además de concentrador de anillos hace la interconexión en L2 con el agregador para la terminación del PPPoE, siendo el agregador el que proporciona la conectividad L3 con el núcleo IP sobre la arquitectura mostrada en la FIGURA 4.4.

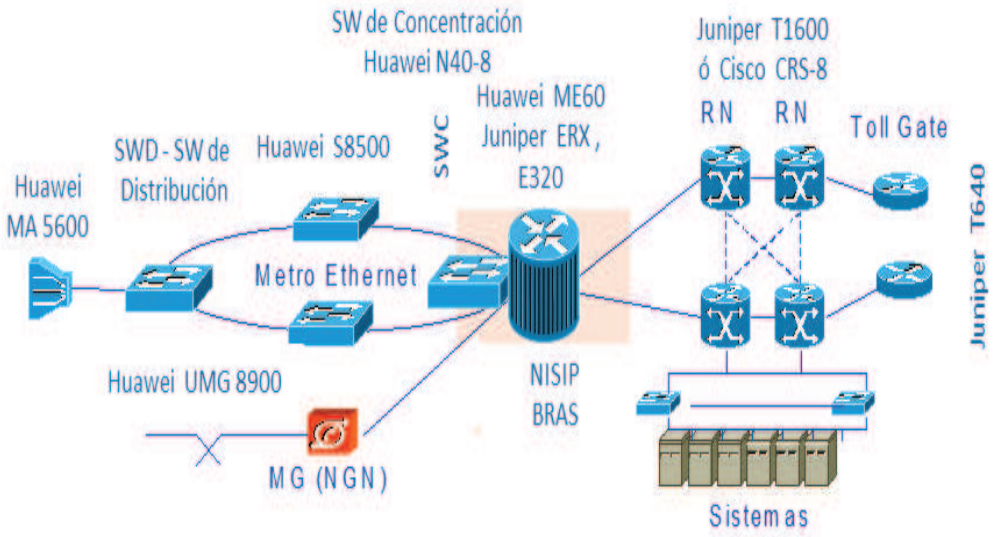


FIGURA 4.4 MODELO DE ARQUITECTURA DE ACCESO AL CORE IP
(Fuente: Elaboración propia)

TdP cuenta con NB de marca Huawei, que conforman elementos de red intermedios concentrando routers de borde y switches de capa 2/3 para interconexión de servicios de transporte L2 para accesar al núcleo IP. Un planteamiento del presente estudio es definir al NB como soporte a los SWC de la ME para que se conecten en L2 al agregador local para la terminación del PPPoE, retornando en L3 al mismo NB para conectarse al núcleo IP, esto permite adicionalmente que el NB pueda servir como host central para soporte como “*cluster*” de agregadores (BRAS-NISIP) de diferentes anillos ME para el acceso al núcleo IP de redes residenciales de TdP, este núcleo debe ser reforzado o acondicionado con el tráfico adicional que se agregue de acuerdo con la cantidad de TOs que TdP deba soportar o manejar en su planta por disposiciones regulatorias, en la FIGURA 4.5 se muestra el *Backbone*[11] de referencia del modelo propuesto.

[11] *Backbone*: También conocido como *Core Networks* se refiere a las principales conexiones troncales para brindar los servicios IP incluyendo Internet. Está compuesta de routers de gran capacidad que llevan los datos a través de los nodos principales tanto en Lima metropolitana como a nivel nacional, el cual es interconectado a un “toll gate” para la salida internacional. La figura 4.5 no necesariamente es una copia del backbone actual de TdP, si no que se presenta un escenario ideal inspirado para soporte de la propuesta.

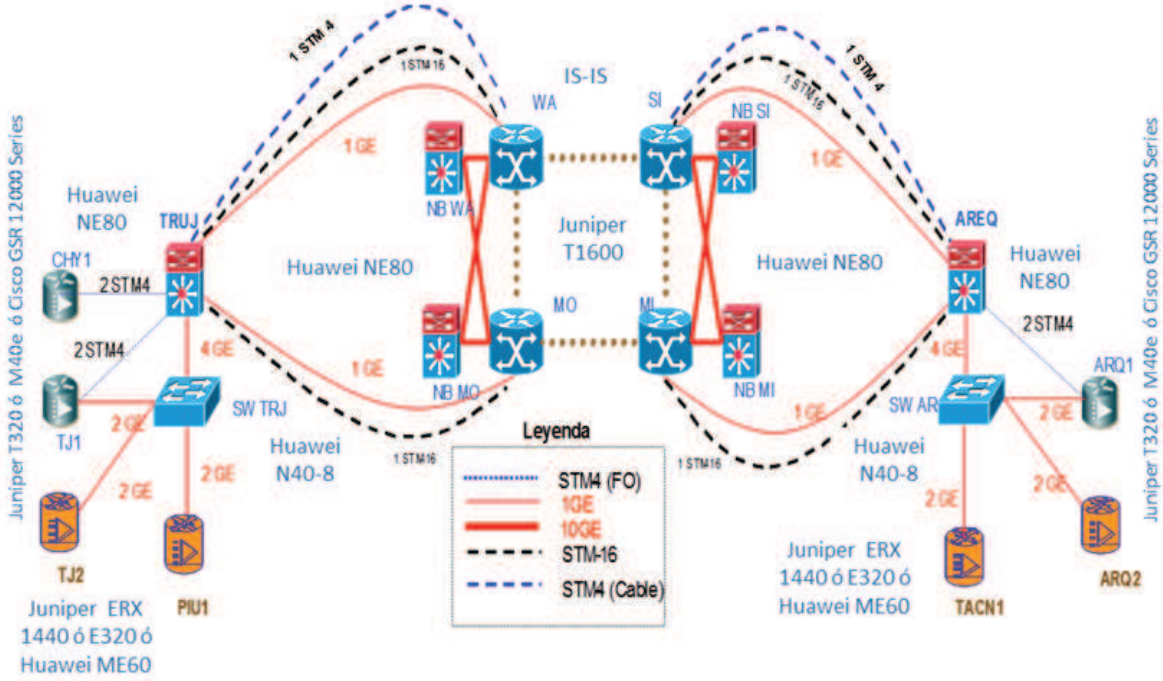


FIGURA 4.5 TOPOLOGÍA DE REFERENCIA BACKBONE DE NÚCLEO IP
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A)

4.2.3 Topología actual de acceso en el DSLAM Ethernet

Actualmente en la red de TdP los circuitos virtuales ATM en el DSLAM ethernet son etiquetados en una sola *inner*VLAN para los servicios de Internet, voz y vídeo, y de allí encapsulado en una *outer*VLAN o *stacked* VLAN (802.1Q-in-Q) para ser trasportado por la red ME de capa 2, en este tramo se opera con el protocolo PPPoE, túnel que es abierto desde el lado de módem de usuario hasta el agregador BRAS/NISIP que es quien termina el túnel.

Las VLANs (*Virtual LAN*s) generan dominios lógicamente independientes dentro de una misma red física. Varias VLANs pueden coexistir en un único elemento o red física, ayudando a la gestión de la red separando segmentos lógicos que no deben intercambiar datos (solo podrían hacerlo a través de un enrutador o un conmutador L3).

Cuando el acceso son por puertos ATM provenientes de módems con trasmisión ATM; las VLANs son construidas en el DSLAM ethernet mapeando los *frames* de circuitos virtuales (VC) VPI/VCI a circuitos virtuales VLAN para su trasporte en ethernet o bien etiquetando las tramas cuando el acceso es TDM o Ethernet.

En la FIGURA 4.6 se muestra la arquitectura de capas de protocolo de acceso al DSLAM ethernet con soporte VLAN y S-VLAN. Este ejemplo se ilustra teniendo en cuenta que los terminales módems de BA son vía acceso en modo ATM.

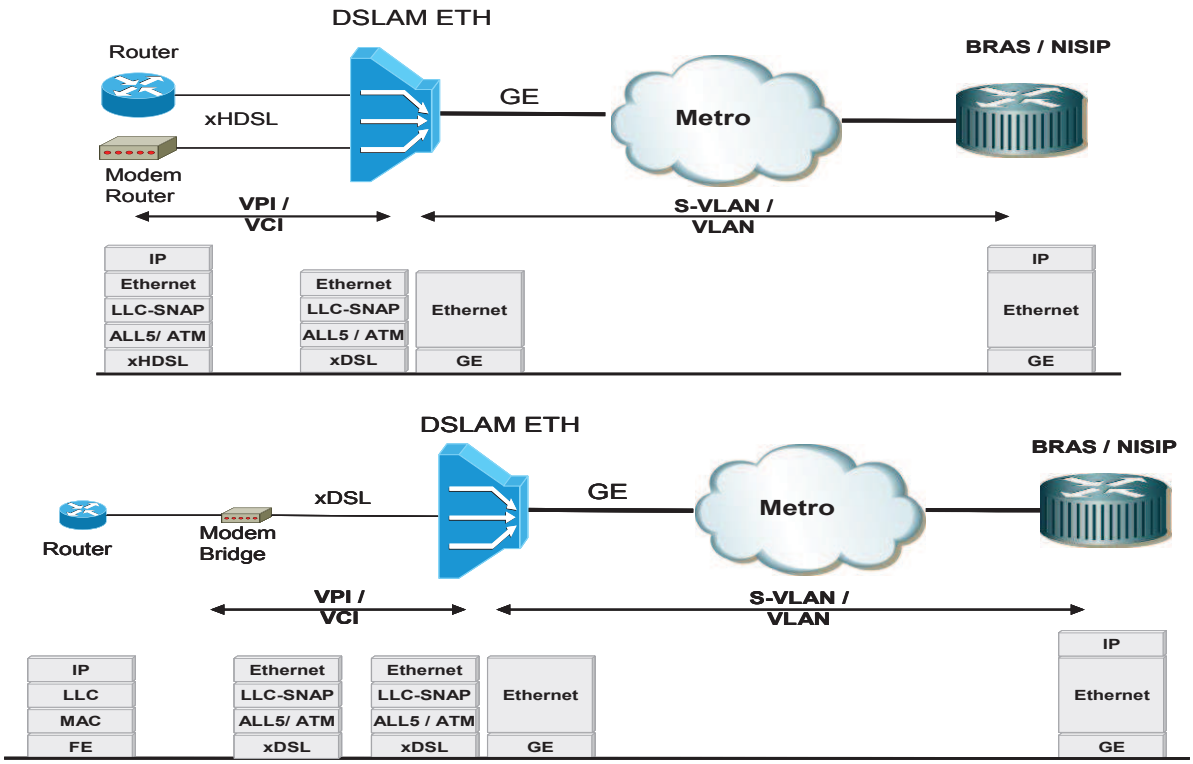


FIGURA 4.6 CAPAS DE PROTOCOLO ACCESO AL AGREGADOR
(Fuente: Elaboración propia)

"Para la conexión de BA vía línea física (par de cobre) por su mayor estabilidad y opciones de QoS se utiliza el acceso en modo ATM capa AAL5 usando protocolo PPPoA o PPPoE, en este tramo de acceso el ATM demuestra una buena efectividad para otorgar calidad de servicio por lo que su uso es justificable para el acceso y para esta etapa de acceso la tecnología ATM aún tiene largo tiempo de vida" [11].

Cuando el acceso son por puertos ATM provenientes de módems con trasmisión ATM; las VLANs son construidas en el DSLAM ethernet mapeando los *frames* de circuitos virtuales (VC) VPI/VCI a circuitos virtuales VLAN para su trasporte en Ethernet o bien etiquetando las tramas cuando el acceso es TDM o ethernet, en la FIGURA 4.6 se muestra la arquitectura de capas de protocolo de acceso al DSLAM ethernet con soporte VLAN y S-VLAN.

S-VLAN es la característica de apilado de las VLANs, mediante el procesamiento de encapsulado de las etiquetas en una segunda capa de la etiqueta 802.1Q en este caso a la salida del DSLAM ethernet (1 Gbps) que se conecta con los SWs de capa 2 de la red ME soportando el estándar IEEE 802.1Q.

De esta forma la red ME trasporta en una "única VLAN" el tráfico de cabeceras de varios usuarios (múltiples VLANs hasta 4096 por *frame* de DSLAM) etiquetados con doble marca, *stacked* VLAN (802.1Q-in-Q), al mismo tiempo el procesamiento S-VLAN conserva las VLAN ID y el tráfico en la VLAN segregada de cada usuario, es decir cada VLAN mantiene las configuraciones de protocolo de cada usuario sin afectar al tráfico de otros usuarios diferentes.

4.2.4 Diseño lógico propuesto del acceso en el DSLAM ethernet

Un aporte más en el modelo propuesto es que el tráfico en el DSLAM ethernet será encapsulado de acuerdo con la RFC 1483 Bridge o RFC 2684 Bridge, el DSLAM recibirá el tráfico entrante de las líneas xDSL, el cual retirará la información de la capa ATM y encapsulará los datos en tramas ethernet asociando un PVC a una VLAN ID. La línea/módem xDSL del TO transportará 3 servicios (Internet, vídeo y VoIP) en 3 PVCs diferentes de BA. Cada servicio será mapeado a un PVC único y distinto lo cual permitirá aplicar políticas de QoS distintas para cada servicio como se muestra en la FIGURA 4.7

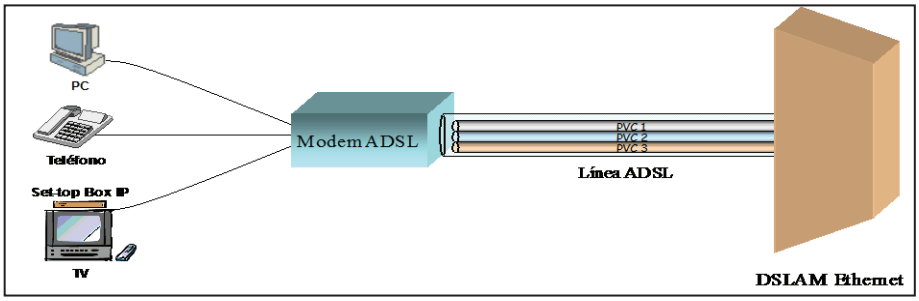


FIGURA 4.7 MAPEO DE UN PUERTO DEL MODEM A UN PVC
(Fuente: Elaboración propia)

Es decir para que el mapeo de servicio por PVC sea posible, cada equipo de cliente debe de estar conectado a un puerto del modem xDSL y cada puerto debe ser mapeado para un PVC específico. El DSLAM debe colocar dos etiquetas 802.1q en el servicio de Internet, una etiqueta para el servicio de vídeo y otra para el servicio de VoIP; la decisión del DSLAM estará basada en el PVC de servicio y el puerto del DSLAM. En la FIGURA 4.8 se este aspecto descrito de mapeos por servicio.

Para complementar este esquema los anillos ME de TdP deben ser configurados para soportar tráfico *3-Play* con QoS conforme lo definido para redes de arquitectura de banda ancha [4]. Hay que remarcar que solo el hecho que cada servicio vaya por un PVC independiente, incrementa en alto grado el QoS comparado con el esquema actual de TdP de compartir varios servicios por un único PVC. En la sección 4.2.10 se muestran las políticas de QoS propuestas para toda la cadena de red.

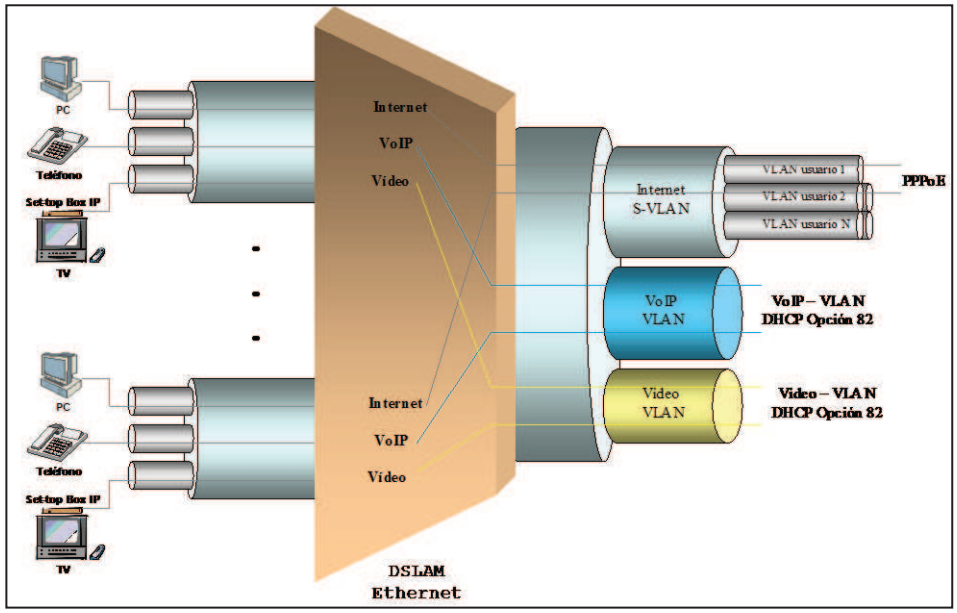


FIGURA 4.8 MAPEO SERVICIOS INTERNET, VOZ Y VIDEO EN DSLAM
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.5 Diseño propuesto para el anillo de SWs de distribución

Todo el tráfico proveniente de los DSLAMs ethernet será entregado a los switches de distribución (SWD) a través de tramas ethernet. Las interfaces conectadas a los DSLAMs deben estar configuradas con:

- 802.1p/q.
- Deshabilitación del STP y configuración en modo trunk.
- Políticas de QoS (ver sección 4.2.10).

Los conmutadores ethernet realizarán la conmutación de las tramas a través de las etiquetas S-VLAN. Estas tramas S-VLAN que se trasporte en la red ME deben ser mapeadas a la tecnología VLL (*Virtual Leased Line*) funciones L2/L3 que realizan los SWs de distribución SWD para que a través del nivel de SWs de concentración SWC se lleve las VLANs-VLL hasta los BRAS/NISIP o agregadores de servicios.

"VLL es una forma de emular conexiones punto a punto de servicios VLAN sobre una red de conmutación de tramas" [15]. La propuesta para el transporte en la ME es usar el tipo *Epipe* basado en una comunicación "punto a punto" sobre redes MPLS] con encapsulación RFC 3985 (*Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge Architecture*) para transportar tráfico ethernet sobre un túnel MPLS, esta tecnología es también conocida como VPWS (*Virtual Private Wire Service*) o EoMPLS (*Ethernet over MPLS*), en la FIGURA 4.9 se muestra esta topología.

Cabe mencionar que cuando se evoluciona a VLL punto multipunto o multicast estamos hablando de una "VPN L2 que se basa en ethernet y que se ejecuta como servicio en el entorno de la tecnología de conmutación de etiquetas VPLS" [15], en ese sentido interopera y es compatible con la administración de una red MPLS y debido a que VPLS es un protocolo menos complejo que MPLS permite manejar VRFs específicas (VRFs Lites) en entornos no MPLS.

En la sección 4.5 se plantea la siguiente mejora de este aspecto virtual de transporte, donde se amplía el tema del VLL inicialmente propuesto en arquitectura VLL-VPN capa 2 para servicios internet y datos evolucionándolo para permitir la adición de servicios VPLS-VRF para VoIP y vídeo.

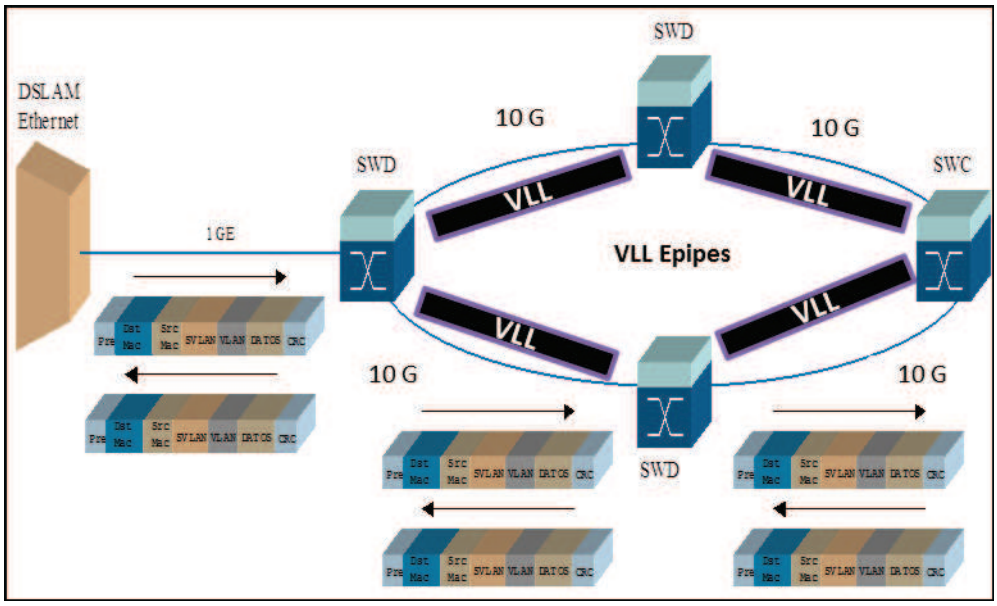


FIGURA 4.9 MANEJO DE TRAFICO EN LOS ANILLOS METRO ETHERNET
(Fuente: Elaboración propia)

Las interfaces conectadas en anillo deben contemplar todas las VLANs/S-VLANs de los usuarios de Internet mapeadas de S-VLAN a VLL transportadas en dicho anillo debiendo estar configuradas con:

- 802.1p/q.
- Rango de VLANs/S-VLANs servicio *Speedy*.
- VLAN de gestión.
- MSTP (802.1s).
- Políticas de QoS (ver sección 4.2.10).
- VLAN-VLL (RFC 3985).

En cada anillo las VLANs podrán usar direccionamiento L3 en el anillo vía el mapeo a VLL *Epipe*. Estas VLL pueden ser usadas como transporte punto a punto de tráfico IP, MPLS y VPN. Las VLLs no deben participar del STP (*Spanning Tree Protocol*) del anillo ya que estas serán utilizadas para encaminamiento a nivel 3 con MPLS y no para conmutación de nivel 2 en el anillo.

Se aclara que el uso de MSTP (*Multiple Spanning Tree Protocol*) bajo el standard 802.1s depende de la infraestructura a implementar, si se tiene una gran cantidad de VLAN la mejor manera de controlar los loops es mediante el uso del MSTP por lo que no se necesita la configuración adicional de STP. Cabe mencionar que en redes grandes un proceso RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol)* resulta en tiempos de convergencia altos por lo que con MSTP se optimiza los tiempos para la toma de decisiones para evitar loops de múltiples VLANs sobre los resultados tanto de instancias STP o RSTP.

Cada anillo debe contener las instancias *de Spanning Tree* con las VLANs /S-VLANs pre-provisionadas. Además se requiere el protocolo GARP (*Generic Attribute Registration Protocol*) - VLAN *Registration Protocol* (GVRP), para permitir la creación dinámica de VLANs en los puertos troncales 802.1Q, permitiendo que los SWs puedan intercambiar información de configuración de VLAN GVRP entre ellos, permitiendo además limitar la difusión innecesaria de tráfico *unicast* desconocido controlando la explosión de direcciones MAC en los anillos ME.

4.2.6 Diseño propuesto para el SW de concentración

El switch de concentración SWC se encarga de realizar la concentración de tráfico internet (del servicio Speedy en el caso de TdP), VoIP y video, excepto el caso de tráfico cursado entre clientes de servicios de capa 2 en un mismo anillo, siendo el que concentra

los anillos formados por conmutadores de distribución SWD. En esta propuesta a diferencia de la topología descrita en la sección 4.2.2 (FIGURA 4.4), el equipo SWC se deberá conectar con un enlace principal en L2 al NB, quien por defecto será el encargado de interactuar en L3 con el agregador BRAS/NISIP liberando de esa función al SWC para que tenga mayor capacidad de procesamiento de VPN L2 hacia los SWD de la red ME, de esta forma los SWC dependen jerárquicamente del NB.

Para las situaciones de una contingencia en el NB que pudiese ocasionar descarte de paquetes en los puertos que llevan el trafico general de la ME, se considera en el SWC puertos de 1GE para respaldo del tráfico de agregación de los TOs hacia el BRAS/NISIP (configurado en L2 del mismo clúster), quedando el respaldo de forma similar a la topología actual activa de TdP.

De esta forma se garantiza un escenario de alta disponibilidad y exclusividad para el tráfico de TOs en el servicio de validación, autenticación y contabilización para facturación (RADIUS/AAA), en la FIGURA 4.10 se muestra el esquema de referencia actual y el esquema propuesto de conectividad del SWC, NB y agregador. Las interfaces conectadas hacia el agregador BRAS/NISIP que llevan tráfico ethernet deberán ser configuradas con:

- 802.1q. y rangos de VLANs/S-VLANs de capa 2 de acuerdo con los rangos definidos en los DSLAMs.
- En L2: Deshabilitación de STP, protocolo PPPoE y configuración en modo *trunk*.
- Políticas de QoS (ver sección 4.2.10).

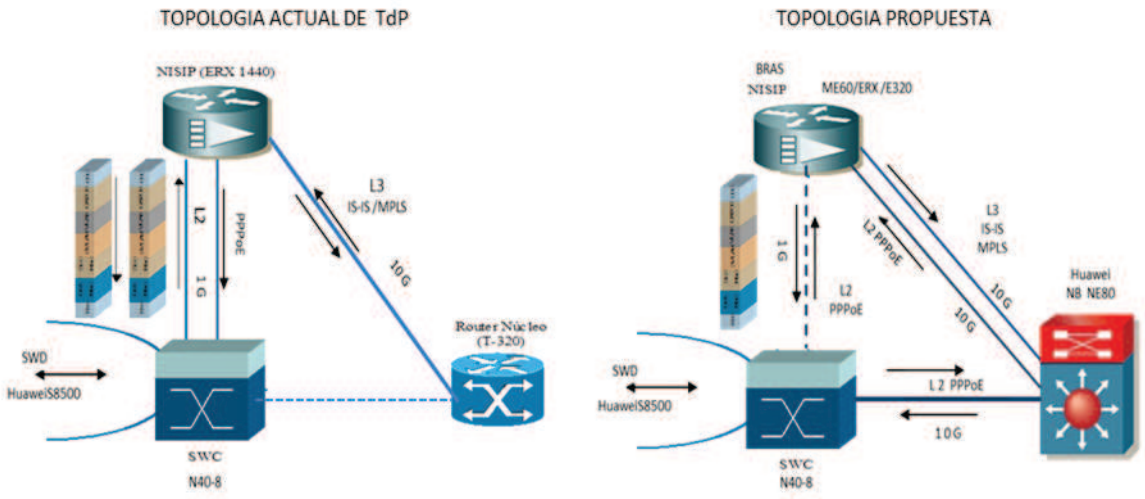


FIGURA 4.10 MANEJO DE TRAFICO EN EL SWITCH DE CONCENTRACIÓN
(Fuente: Elaboración propia)

Respecto a los protocolos IS-IS u OSPF en L3, se aclara que ambos son similarmente escalables cuando se diseñan adecuadamente. Sin embargo existen informaciones que mencionan que el IS-IS tiene mayores ventajas respecto a OSPF, como es su independencia y su total compatibilidad con IPv6 lo cual puede ser discutible y no es objeto de este trabajo, en el presente estudio se considera ISIS por ser el protocolo utilizado en la red de TdP, migrado de OSPF a IS-IS a nivel Core IP durante el 2013.

Líneas abajo se mencionan algunas diferencias principales entre ambos protocolos y en la FIGURA 4.11 se muestra la topología propuesta

- IS-IS es un protocolo de capa 3 con su propio paquete de L3, mientras que OSPF utiliza el paquete IP.
- IS-IS es responsable de la fragmentación, mientras que en OSPF la fragmentación es responsabilidad de IP.
- IS-IS opera en la parte superior (enlace) de L2 y OSPF opera en L3.
- IS-IS requiere un único plano de control para interoperabilidad IPv4 e IPv6 mientras que OSPF requiere dos planos de control.

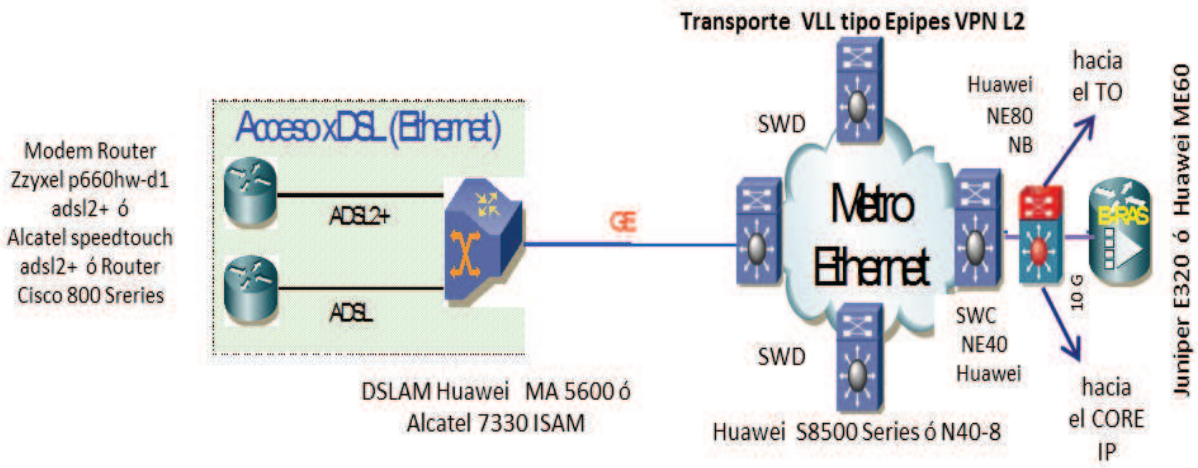


FIGURA 4.11 TOPOLOGÍA DE ACCESO METRO ETHERNET PROPUESTA
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.7 Diseño de AAA para la línea xDSL

Dado que a cada cliente se le asocia una VLAN ID y además una segunda etiqueta (VLAN *Stacked*) se debe reflejar dos niveles similares al par VPI/VCI. Las VLAN ID y *Stacked* VLAN son terminadas en el agregador BRAS/NISIP, luego éste debe actuar como cliente RADIUS e insertar en su solicitud RADIUS el atributo Port-ID el cual contiene información de slot, puerto VLAN y S-VLAN (Q-in-Q) por cada conexión hacia el AAA.

La referencia de identificación para el caso de una línea ADSL usando un servidor RADIUS con soporte para DIAMETER (descrita en 4.4.2.1) se muestra en la FIGURA 4.12, en la sección 3.5.3 se hace una comparación referencial entre RADIUS y DIAMETER.

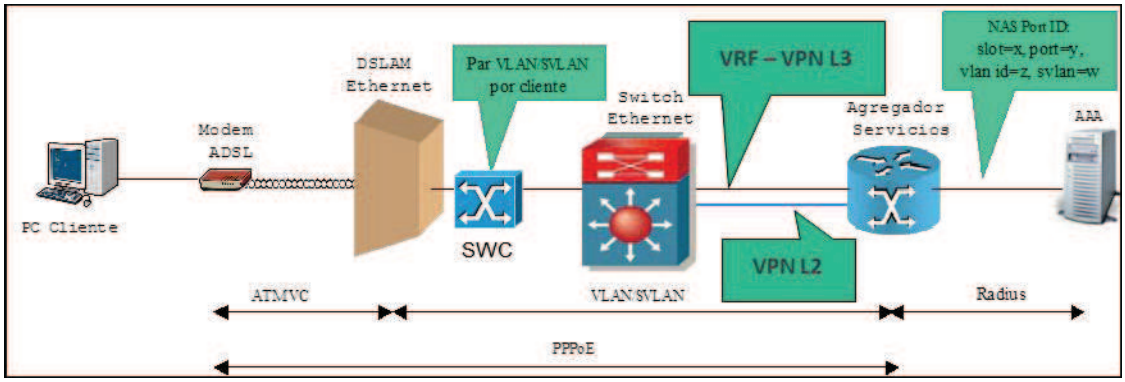


FIGURA 4.12 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE LA LÍNEA DSL
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.8 Aporte agregación y transporte L3 en Nodo de Borde

Otro aporte primordialmente relevante se da en la red de agregación BRAS/ NISIP, en donde el tráfico de cada TO, una vez validado se propone sea agregado en una VRF vinculada en el ambiente MPLS VPN (*Layer 2 forwarding protocol*) Es decir implementar VRFs para crear por separado redes privadas virtuales VPN's con el tráfico de cada TO, basada en el intercambio de las *communities,* donde éstas son parámetros identificadores de cada conexión.

Este concepto proviene del BGPe, protocolo de *routing* externo entre diferentes sistemas autónomos, en el que mediante la combinación de estas *communities* se puede conseguir múltiples restricciones, permisos, filtros, etc., a la hora de enviar tráfico entre dos sistemas autónomos (p.e: etiqueta MPLS. etiqueta VPN, datagrama IP). Una extensión de BGP (*Multiprotocol BGP*) va a ser de hecho el protocolo de distribución de las etiquetas VPN donde los ID van a ser *communities*. Las *communities* principales de las VPN son: *Route Distinguisher* (RD) y *Route Target* (RT) donde el:

- *Route Target* se encargará de controlar el *routing* de la VPN. Se pueden colocar varios RT en cada router.
- *Route Distinguisher* se encargará de evitar la duplicidad de las direcciones IP.

Cada router sólo importará los prefijos que vea con su RD y no podrá importar rutas con otros RD. El funcionamiento básico es que el RD se usa para generar un prefijo VPN

MPLS que distingue las VPNs unas de otras, de forma que cada VPN tenga un prefijo único y unívoco dentro de la nube MPLS.

En la propuesta planteada sobre la red de agregación a partir de cada BRAS/NISIP se deben crear las instancias de *routing* diferentes para cada VPN o tablas de *routing* virtuales VRF, igual para los NB; como se ha mencionado es análogo a crear dentro de cada agregador BRAS/NISIP y NB múltiples "routers virtuales". Esto aumenta las funcionalidades al segmentar las rutas de red sin el uso de múltiples dispositivos, permitiendo que varias instancias de una tabla de enrutamiento puedan coexistir al mismo tiempo y trabajando simultáneamente.

Dado que las instancias de enrutamiento son independientes o lo que es lo mismo se superponen las direcciones IP, se pueden utilizar sin entrar en conflicto entre sí, siendo así la VRF como instancia de tabla de enrutamiento FIB *(Forwarding Information Base*) puede existir en casos múltiples por cada VPN en el elemento de red que hace la función de RB o NB L2/L3/L4.

Considerando que el tráfico es automáticamente segregado, la VRF aumenta la seguridad de la red pudiéndose eliminar la necesidad de cifrado. En ese contexto el elemento de red L2/L3/L4 debe tener la posibilidad de configurar diferentes routers virtuales, donde cada uno tiene su propia tabla FIB, que no es accesible a cualquier instancia de otro router virtual en el mismo dispositivo, es decir una VRF puede ser implementada en un dispositivo de red por distintas tablas de enrutamiento conocida como bases de reenvío de la información FIB.

La VRF actúa como un router lógico, pero mientras que el router lógico puede incluir muchas tablas de enrutamiento, una instancia de VRF utiliza sólo una tabla de enrutamiento, dicha tabla designa el siguiente salto y el reenvío cada paquete de datos, indicando una lista de dispositivos que pueden ser designados para que se le reenvíe el paquete y un conjunto de reglas de enrutamiento y protocolos que rigen la forma en que el paquete debe ser enviado.

Estas reglas evitan que el tráfico no se reenvíe fuera del ámbito de la VRF específica y también mantener dentro el tráfico que debe permanecer en el ámbito de la VRF. Cada TO tendrá su tráfico en una VRF independiente y será pre-configurado en toda la red de agregación (Juniper ERXs y E320s o Huawei ME60 o Cisco VXR 7200) y los NB de cara

al núcleo IP en la red de TdP, en la FIGURA 4.13 se ilustra como ejemplo el caso para un TO denominado ISP 1.

FIGURA 4.13 MODELO VRF RED IP/MPLS
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.9 Perfil del modelo aplicado a localidades

Se describe el perfil técnico del modelo propuesto aplicado a localidades en *zonas marginales y sectores emergentes* en la que se detallan los elementos y sistemas de comunicaciones involucrados en toda la cadena de red, en la FIGURA 4.14 se muestra una conexión de datos, el usuario accesa vía módem xDSL (ADSL o G.SHDSL) con funcionalidad de *access point* WI-FI que se conectan a un PoP local *Hotspot* WI-FI del TO. El acceso WI-FI trabaja basado en las normas 802.11 a/b/g/n (en el capítulo 5 sección 5.6 se define el modelo WLAN WI-FI caracterizado para el presente estudio).

A partir de allí el usuario se encuentra interconectado en tecnología *wireless* a una cabecera local de TdP, esta conectividad puede ser en *backhaul* o alternativamente vía radio o línea física hasta una central de conmutación local de TdP, en este último caso vía *splitter* se filtra y separa el espectro de voz de la conexión de datos que es dirigida al DSLAM ethernet correspondiente.

Una vez trasportada por la red ME se llega al BRAS/NISIP y de allí se inicia el proceso de validación con el servidor RADIUS AAA y LDAP de TdP que interactúa haciendo *proxy* con el AAA/LDAP del TO, que es quien hace la validación final y entrega una dirección IP de su rango al usuario, una vez validado el usuario el agregador BRAS/NISIP se conecta mediante VPN hacia el NB que en TdP es un SW Huawei NE80 capa L2/L3/L4 trasportando la información del usuario en una VRF la cual está vinculada al RB del TO, el NB enruta mediante protocolo BGP (u otro IGP o estática) hacia el RB del TO quien le da salida a Internet.

Debido a que para esta parte de la red se utiliza infraestructura de TdP, en adición a lo mencionado en la sección 3.4.5 para minimizar costos en los NB se ha propuesto el uso

de los Huawei NE40E L2/L3/L4, no obstante indicamos que existen equipos con funcionalidades equivalentes[12] en el mercado como es el caso del Juniper M40e o Cisco M 6500 o Alcatel-Lucent 7450 Series ESS 2 Tbps.

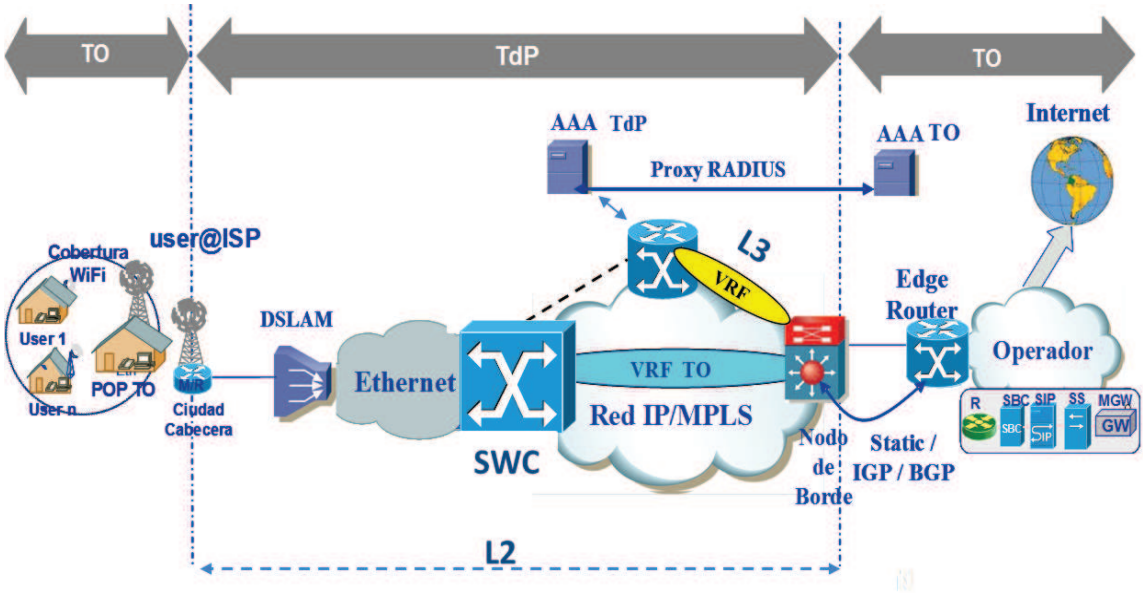


FIGURA 4.14 TOPOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE DATOS
(Fuente: Elaboración propia)

El proceso de distribución de *routing* en la red IP/MPLS se hace con MBGP entre los BRAS y los NB, mientras que para la distribución del NB al RB del TO se puede utilizar BGP si se le da un tratamiento de sistema autónomo (AS - *Autonomous System*) al TO (lo que se recomienda) o en todo caso si es tratado como un router de cliente se puede usar protocolo IGP (OSPF o ISIS) o también *routing* estático. En el caso más simple se puede configurar de cara al TO VLAN (capa 2) o si el TO lo requiere VPN (capa 3).

Un aporte importante en este modelo es la mejora propuesta en la autenticación; (donde el TO realiza su propia autenticación), actualmente para el proceso de validación los servidores RADIUS AAA y LDAP de TdP hacen *proxy* con el AAA/LDAP del TO, siendo TdP quien le hace al TO una autenticación delegada, este modo de operación trae el inconveniente que el TO tiene que dar sus *pools* de direcciones IP para que TdP las pre-provisiona por rangos en todos sus agregadores BRAS/NISIP, lo cual complica la administración por la provisión y gestión por el tema de sumarización.

[12] No se ha considerado como alcance de la presente tesis evaluar y seleccionar equipos nuevos de diferentes marcas y tecnologías para la red de TdP dado que se aprovecha los equipos existentes en TdP, sin embargo se mencionan equipos similares para evaluación de los interesados.

En relación a la solución de voz se presentan varias posibilidades: telefonía TDM (con interfaces ATA o IAD), IP (teléfono SIP) o VoIP (*Asterisk, Softphone, etc.*). Según sea el caso si es telefonía IP el transporte es vía la red de datos dedicada a la NGN y si es telefonía TDM de circuitos a partir del *splitter* se separa mediante filtros la comunicación de voz, la cual es trasportada por la red PSTN teniendo como punto de acceso una central local o URD (Unidad Remota Digital) más cercana a la localidad cabecera. A partir de la PSTN o RTC/RTB se interconecta la comunicación de voz con la red de LDN (Larga Distancia Nacional), en la FIGURA 4.15 se muestra la topología para la voz.

Para el manejo de las aplicaciones de VoIP sobre NGN uno de los elementos más importantes es el *Softswitch* (SS) servidor de conmutación de paquetes, servidor de señalización SIP y SBC (*Session Border Controller*) dispositivo programable que controla las llamadas de VoIP, habilitando la integración de los diferentes protocolos del grupo H.323, SCCP y SIP en la NGN, siendo su función más importante conjuntamente con el soporte de los *Signaling Gateway* (SG) *Media Gateways* (MGW), crear la interfaz PdI (Punto de Interconexión) con la red telefónica PSTN (RTB/ RTC) de TdP.

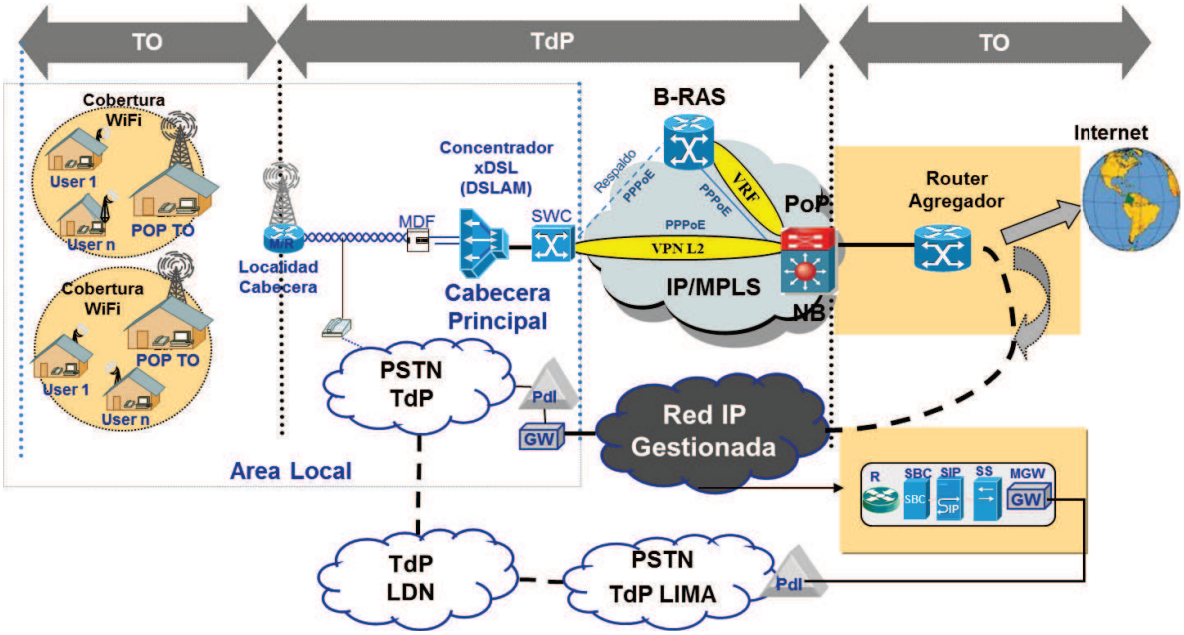


FIGURA 4.15 TOPOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE VOZ
(Fuente: Elaboración propia)

De contar el TO con red de acceso de última milla WI-FI y los servidores IP específicos descritos en las secciones 2.4 y 5.8, se conectará directamente con la NGN de TdP vía *Backhaul,* VPN L2 y VPN L3 (VRF), en la FIGURA 4.16 se muestra el diagrama topológico de la solución integral voz + datos con equipamiento de TdP y del TO.

En el caso que los usuarios no sean dependientes de la red de acceso WI-FI del TO y acceden por la red de planta externa (línea de cobre alquilada a TdP por el TO), igual la propuesta considera la red de transporte sobre la infraestructura de TdP y la salida a Internet sobre la red del TO, pudiendo usar para el tramo internacional infraestructura propia, alquilada a TdP o contratar a cualquier otro operador internacional.

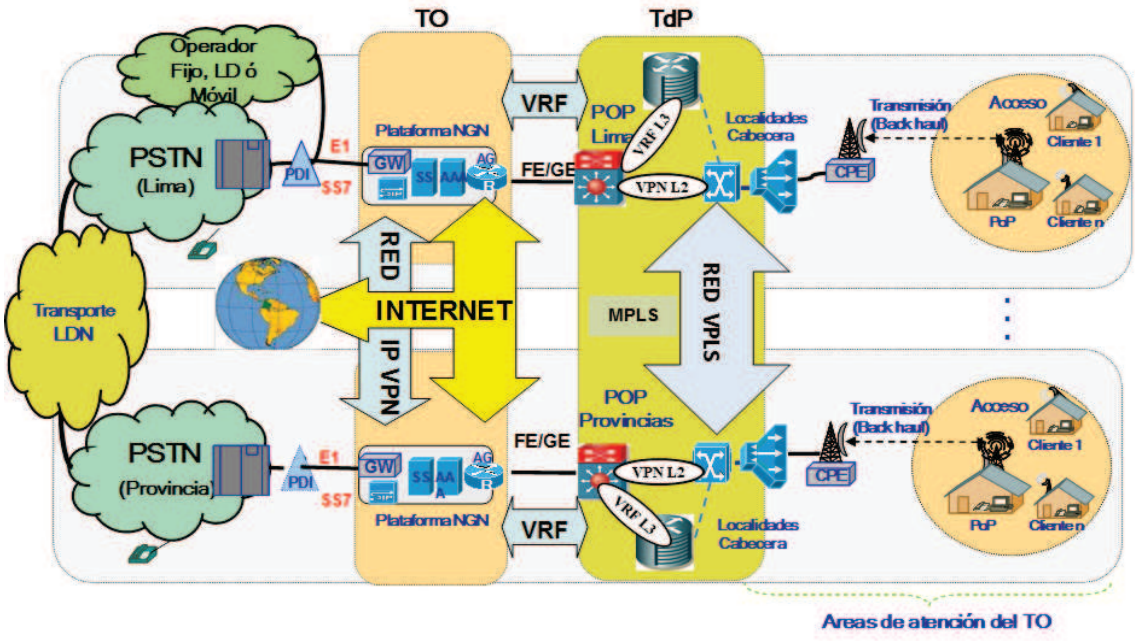


FIGURA 4.16 ESQUEMA INTEGRAL DE SERVICIOS VOZ + DATOS
(Fuente: Elaboración propia)

4.2.10 Políticas de QoS para la perfomance de la red

En adición a la sección 4.2.4 que para mejorar el QoS propone usar un PVC diferenciado para cada servicio, en esta sección se definen políticas de QoS para minimizar el *jitter*, *delay* y *packet loss.* Estas políticas van desde el terminal CPE y en toda la cadena de red *end to end* lo que implica el uso de colas (ver nota de pie Nro. 8 en pág. 51) e implementar *buffers* a lo largo de los tramos involucrados en la conectividad del servicio.

Cabe indicar que el QoS se puede garantizar en un ambiente controlado toda vez que cuando se ingresa a Internet se pierde la calidad porque allí no se garantiza el uso de políticas, colas, *buffers* para cada servicio diferenciado. Dado que el servicio más crítico por su sensibilidad es la voz, en la sección 4.3.2.2 se describe la simulación de un escenario de pruebas limitado para medir y comparar la calidad de servicio de una comunicación de VoIP sin QoS y otra con QoS, en la que se observa que con QoS mejoran los valores de retardo, pérdida y *jitter*.

Dos métodos populares para evaluar VoIP son el MOS (*Mean Opinion Score*) que es el método subjetivo de opinión de usuarios más utilizado y el método de métricas ICPIF (*Impairment Calculated Planning Impairment Factor*) de la ITU-T G.113 utilizado por Cisco Systems con su funcionalidad IP SLA[13],. Existen otros métodos como es el R-*Factor* que es un método objetivo complejo basado en la ITU-T G.107 E-*model and a recency model*, donde R es el indicador numérico del resultado de un algoritmo que evalúa parámetros de transmisión que incluye efectos acumulativos de deterioros generados por los equipos, también están las metodologías e la ITU-T P.861 PSQM (*Perceptual Speech Quality Measurement*), ITU-T P.862 PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) e ITU-T P.564 (IP packet-based), ITU-T P.563 (*Single-ended signal-based*), las cuales solo las referenciamos por ser un tema especializado no objetivo principal del presente estudio. Como referencia de estos valores de QoS de voz en la sección 4.3.2.1 se muestra una comparación de los valores MOS, ICPIF y R-*Factor*.

Cabe mencionar que en *networking* "el *wander* es un *jitter* de baja frecuencia (menos de 10 Hz) denominada como la variabilidad del tiempo de ejecución de los paquetes debido al *delay"* [3], por tanto el *jitter* incluye al *wander*. Si el *jitter* no es controlado se genera un problema latente en la red, no obstante no causa errores hasta que supere un cierto umbral (aceptable <150ms*),* siendo nocivo en aplicaciones de Internet para multimedia, radio o telefonía IP ya que provoca que algunos paquetes no sean entregados a tiempo llegando demasiado pronto o con *delay* (retraso en el tiempo).

Teniendo en cuenta que la pérdida de paquetes se produce por el desborde de una cola en el momento de congestión y donde el *delay y jitter* están asociados a la configuración de los servicios, es relevante que los tráficos sean marcados en la entrada de los elementos de red para que sean encolados de forma correcta y ubicados de acuerdo con los requisitos esperados para cada servicio. Debido a que se utiliza infraestructura de TdP y que los valores de CoS que contribuyen a la QoS están ligados al número de colas disponibles en cada interfaz de equipos L2, dado que existen diversos equipos, marcas y modelos en operación ya configuradas con distintos valores de colas, se debe recomendar a TdP que éstos valores sean homologados en coordinación con

[13] *IP SLA* es una herramienta incrustada en las versiones modernas de *IOS* de routers Cisco y en algunos otros dispositivos que nos permite monitorear el nivel de los servicios de los sistemas para las aplicaciones y estadísticas específicas de rendimiento de la red en tiempo real y desde la perspectiva de los equipos terminales *CPE* del usuario final.

todas sus áreas involucradas y posteriormente validar los servicios sobre la ME, para afinar finalmente los parámetros QoS a configurar en el modelo propuesto.

4.2.10.1 En el nodo de distribución SWD L2

Para el tráfico entrante desde el CPE hacia la red - QoS de entrada:

- Política para el servicio VoIP (clase oro), transmitir CIR (C*ommited Information rate*) y el exceso descartar.
- Política para el servicio de datos (clase plata), transmitir CIR, el exceso marcar como decremento hacia la clase video.
- Política para la clase bronce, hasta el CIR trasmitir con CoS=X.

Para el tráfico de salida desde la red hacia el CPE - QoS de salida:

- Política para el servicio VoIP (clase oro), transmitir CIR y el exceso descartar.
- Política para el servicio de datos (clase plata), transmitir CIR, el exceso marcar como decremento hacia la clase video.
- Política para la clase video, hasta el CIR, trasmitir con prioridad X hasta el ancho de banda contratado.

4.2.10.2 En el nodo de concentración SWC L2/L3

- Marcación de diferentes tipos de tráfico en diferentes colas, separando los tráficos de voz, video, VPN e Internet.
- Configuración de voz y video en las colas de más alta prioridad y verificar que se garantiza el ancho de banda para estos tipos de tráficos.
- Configurar WRR (*Weighted Round Robin*) para dividir el ancho de banda restante, verificando el comportamiento de los tráficos de VPN e Internet.
- Mapeos de CoS (*Class of Service*) para ToS (*Type of Service*) y viceversa.

4.2.10.3 En el nodo de borde L2/L3/L4

Para el tráfico entrante desde el CPE hacia la red:

- QoS de entrada - Encolamiento basado en clases, marcación de diferentes tipos de colas basado en el 802.1p.

Para el tráfico de salida desde la red hacia el CPE:

- QoS de Salida - Encolamiento basado en los bits 802.1q.

4.2.10.4 En el nodo de backbone L3

Para el tráfico entrante desde el CPE hacia la red:

- QoS de Entrada VPN Capa 3 - s*happing* de entrada para el ancho de banda contratado por el cliente (no por clase).

Para el tráfico de salida desde la red hacia el CPE:

- QoS de Salida VPN capa 3 - *shapping* para el tráfico de salida jerárquico con encolamiento basado en clases.

4.2.10.5 Diferencias QoS y CoS

El CoS y QoS son parámetros diferentes, la CoS proporciona un mecanismo para la aplicación de QoS, la CoS opera en Ethernet y se establece en la capa de enlace (capa 2), se mapea con 3 bits en el campo del encabezado de la trama cuando un etiquetado VLAN 802.1Q está presente, siendo específicamente su valor de prioridad entre 0 y 7 también conocido como CS0 hasta CS7, que puede ser utilizado para diferenciar disciplinas o formas de políticas de tráfico para aplicar QoS en la red.

4.3 Configuración de la red

4.3.1 Plan de numeración VLAN

Actualmente en la planta de TdP se disponen de 3 tipos de DSLAM ethernet, los cuales manejan diferente número de líneas ADSL. Estos son los DSLAM: MA5300 y MA5600 de Huawei y el ISAM 7302 de Alcatel (como referencia se comenta que el Cisco 6269 cumple funcionalidades equivalentes[14]). Para su implementación lógica se debe considerar los valores de Inner VLANs mostrados en la TABLA 4.1.

	Inner VLAN	
DSLAM	Inicio	Fin
MA 5300	11	682
MA 5600	11	906
ISAM 7302	11	778

TABLA 4.1 PARÁMETROS VLAN INNER
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

Los rangos de outer VLANs para las localidades en la cobertura, o cualquier cambio de numeración VLAN se ajustarán según plan de numeración VLAN previsto por TdP (en el ANEXO G se presenta una muestra del plan de VLANs *Inner/Outer* actual de TdP).

[14] En TDP no se cuenta con DSLAMs de marca CISCO, en su planta actualmente se cuenta con 2,299 DSLAM (Febrero 2014), el porcentaje se divide aproximadamente en un 40% para Huawei y 60% para Alcatel, de éstos últimos el 30% son de tecnología ATM (ALCATEL). No hay actualmente en planta de TdP DSLAM ATM de tecnología Huawei.

4.3.2 Análisis de tráfico y monitoreo de SLA

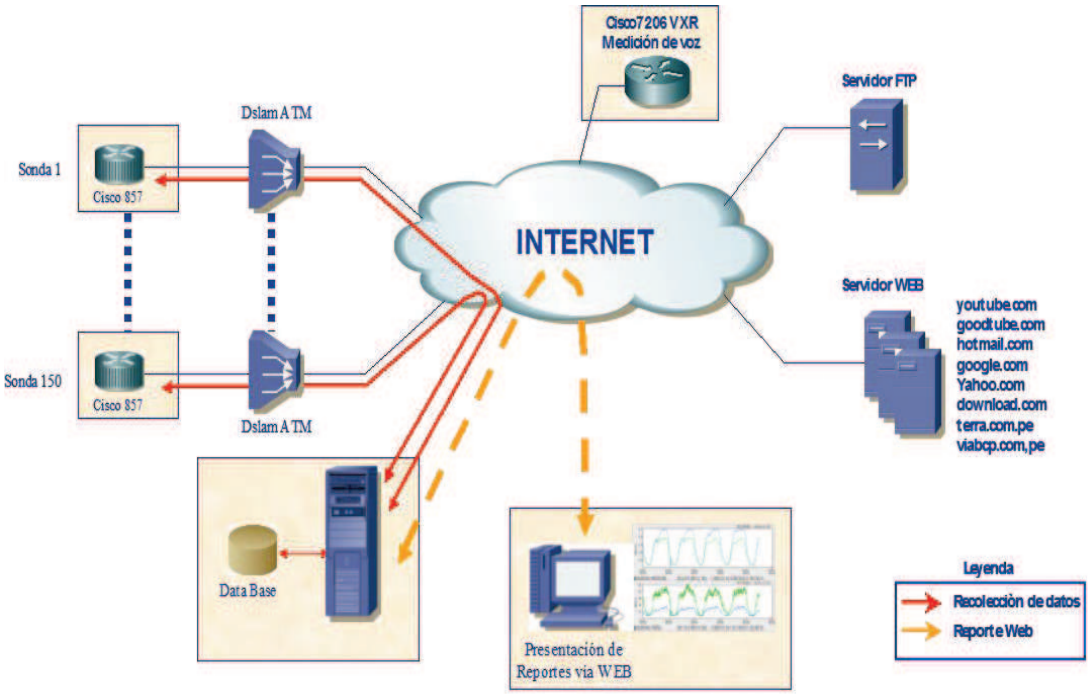
Para analizar el comportamiento real del tráfico que pasa por diferentes elementos de red y capacidades que van en ráfagas medibles en bits/s que dependiendo de la carga de la red son retrasmitidas por los protocolos de encaminamiento, es importante medir el SLA (*Service Level Agreement*) que se ofrece en base a las configuraciones de QoS (descritas en la sección 4.2.10); en ese sentido se plantea monitorear el comportamiento del tráfico del lado de usuario mediante una plataforma de SLA capaz de medir el uso del servicio a nivel de aplicaciones en el terminal de acceso de línea de cliente.

Para validar el SLA acordado de nivel de servicio que se brinda al cliente se requiere de la evaluación del comportamiento del usuario mediante la medición de la QoE (*Quality of Experience* - Calidad de Experiencia) del usuario en los DSLAMs, ya sea para ver niveles de saturación, zonas de competencia, intereses comerciales u otros requerimientos de negocio o necesidades de planificación y desarrollo de la red. Para el logro de esta meta se plantea utilizar el servicio de medición de SLA de TdP sobre su plataforma *NetQoS-NetVoyant* (que utiliza terminales de emulación CPEs de usuario del tipo routers Cisco de la Serie 800) para monitorear el SLA del servicio del usuario final. De esta forma el TO puede definir su estándar de QoE y validar la calidad de su servicio.

Dicha plataforma tiene capacidad de crecimiento de hasta 2048 terminales “sondas” para efectuar el monitoreo y mediciones que son controladas y programadas desde un servidor central, los routers son gestionados remotamente y simulan a dos usuarios del DSLAM, uno con perfil de baja velocidad y otro con perfil de alta velocidad, para dicho efecto se consideran 3 PVCs (usuario 1, usuario 2 y gestión). Estos routers terminales (uno por DSLAM ethernet y uno por DSLAM ATM) interactúan con la plataforma *NetQoS-NetVoyant* para realizar la medición del desempeño promedio de la navegación *Speedy* de TdP con las principales aplicaciones *web* (VoIP, FTP y HTTP), permitiendo comprobar la calidad de experiencia del usuario con los dos diferentes perfiles de velocidad en los DSLAMs seleccionados.

La evaluación de QoE en DSLAMs saturados permite evaluar la calidad del servicio y determinar si se puede o no seguir comercializando más accesos de BA, la medición oportuna permite determinar los requerimientos de ampliación de la red tanto a nivel de acceso como a nivel de transporte, aumentando la disponibilidad del servicio ADSL con la toma de acciones correctivas en los DSLAMs saturados. En DSLAMs no saturados permite evaluar la calidad del servicio en zonas de competencia, permitiendo introducir

mejoras en la disponibilidad del servicio ADSL con la toma de acciones proactivas oportunamente para optimizaciones en la red y mejorar la percepción del cliente, en la FIGURA 4.17 se muestra un esquema general de topología de plataforma de medición para SLA.



Fuente: Desarrollo propio

FIGURA 4.17 PLATAFORMA DE MEDICIÓN QoE PARA SLA

Esta plataforma está conformada actualmente en TdP por los siguientes elementos:

- 300 Sondas de recolección CPE (Routers Cisco Serie 800).
- *Appliance* para medición de voz (Cisco 7206 VXR).
- *Appliance NetQoS-NetVoyant* y servidor de base de datos.
- Servidor de *web*, FTP, reportes y monitoreo

El SLA para xDSL debe medir la calidad de los servicios de Internet siguientes:

- Rapidez de bajada de página *web*, mide el tiempo de descarga de la página HTML.
- Rapidez de transferencia de FTP, mide el tiempo de la transferencia de un archivo.
- Medición de pérdida de paquetes, mide el porcentaje de paquetes perdidos
- Medición de calidad de voz vía Internet, mide la calidad del servicio de voz.

La plataforma opera con valores definidos de SLA para cada uno de los principales servicios de Internet: HTTP, FTP, voz, éstos valores de SLA de los servicios descritos

han sido normalizados obteniéndose un único valor de SLA aplicado al servicio *Speedy* de TdP, valores definidos de 0 a 5, donde los valores de SLA vs definición de QoS se muestra en la TABLA 4.2; en el ANEXO I se muestra ejemplos de gráficas de mediciones QoE-SLA de servicios ADSL en DSLAMs.

Valor de SLA	Definición de Calidad de Servicio
5 ≥ SLA ≥ 3	Bueno
3 > SLA ≥ 2	Regular o Medio
2 > SLA ≥ 0	Malo

TABLA 4.2 PARÁMETROS DE VALORES SLA
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

La fórmula "SLA *Speedy*" (TdP) que se indica líneas abajo, está definida simulando la percepción del servicio por un usuario, la misma que se construye conjuntamente entre el suministrador y el operador teniendo en cuenta valores KPI (*Key Performance Indicators*) de experiencia de niveles de satisfacción de clientes a nivel internacional.

$$\text{SLA Speedy} = \frac{(1-\text{SLAPL}) \cdot (P1.\text{SLAHTTP} + P2.\text{SLAFTP} + P3.\text{SLAVOZ})}{P1 + P2 + P3}$$

Dónde:

SLA PL = Valor de 0 a 1
SLAHTML= Valor de 0 a 5
SLAFTP = Valor de 0 a 5
SLAMOS = Valor de 0 a 5

Pesos:
P1 = 60
P2 = 20
P3 = 5

Hay que evaluar y tener en cuenta que de no requerir este servicio de monitoreo SLA a TdP, se corre el riesgo de degradación del servicio de acceso BA suministrado por el TO a sus propios usuarios, sobre todo teniendo en cuenta que para el dimensionamiento de la red de la última milla inalámbrica (ver sección 5.7) no se ha considerado en ciertos tramos de la red una capacidad excedente de ancho de banda (a fin de optimizar las inversiones), por lo que el NO monitoreo de la QoE del usuario en forma adecuada podría traer consecuencias contraproducentes, sobre todo cuando el tráfico crece en las horas pico o en momentos de saturación de la red del operador dominante ya sea por factores exógenos o endógenos.

4.3.2.1 Consideraciones de SLA y QoE para tráfico de voz

En transmisión de VoIP y el tráfico de telefonía IP, el SLA y la QoE están directamente relacionados con la QoS. VoIP es un método de transferencia de voz que usa recursos del protocolo IP que se le puede considerar como una tecnología que forma parte del paragua de la infraestructura global de telefonía.

Para brindar un servicio de telefonía IP, a la señal de voz que viaja digitalmente a través de paquetes por Internet, redes de datos LAN o WAN se le agrega la señalización de telefonía bien desde el terminal CPE del usuario (*software o hardware*) o de los *gateways* del operador para emular el estándar de numeración E.164[15], usando protocolos de señalización como SCCP, H.323 o SIP (ver sección 2.3.2), protocolos de integración según tipo de red PSTN o NGN (ver sección 2.4 y 5.8) o según ubicación del Codec (terminal CPE o *gateway*) y protocolos de adaptación de acuerdo al terminal final como ATA o IAD (ver sección 2.4).

Medir el QoS de voz es un proceso donde las mediciones son dependientes del tipo de Códec del terminal, de los instrumentos de medición y de validar diversas tasas objetivos de transmisión. Existen diferentes tipos de Codecs en BE para VoIP como son los de la serie G 700 de la ITU, los AMR (12.2 y 4.75 Kbps), los iLBC (15.2 y 13.3 Kbps), etc., en la TABLA 4.3 se muestran los Codec más utilizados para VoIP en nuestro medio.

Standard	Bit Rate (Kbps.)
G.711	56 o 64
G.722	48, 56 o 64
G.723	5,3 o 6,4
G.728	16
G.729	8 o 13

TABLA 4.3 REFERENCIA DE CODECS DE BANDA ESTRECHA PARA VOZ
(Fuente: Estándares ITU-T Series G de Códec)

Según el Códec utilizado en la transmisión se requiere mayor o menor BW para la codificación, siendo esta cantidad BW utilizada directamente proporcional a la calidad de los datos transmitidos, es decir a mayor BW mejor QoS, pero eso no es todo el BW utilizado, para calcular el total de BW por canal hay que sumarle el tráfico de voz. El Codec mas utilizado hoy en día y comercial en nuestro medio para VoIP es el g729A de 8 Kbps (más 16 Kbits de cabecera, más bits para señalización y bits de extensión para protocolos) que utiliza 31.5 Kbps de BW total en su transmisión.

La puntuación teórica del MOS para el códec g729A oscila entre 1 para una llamada inaceptable y 5 para una excelente, en la práctica los valores recomendables de QoS

[15] Recomendación UIT-T E.164, Plan internacional de numeración de telecomunicaciones públicas, Serie E: Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos, Explotación de las relaciones internacionales – Plan de numeración del servicio telefónico internacional - Sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT.

para una llamada de VoIP en el método MOS están entre el rango de 3.5 - 4.2. En el caso del ICPIF los valores para una llamada excelente están en el rango de 0 -3 y para llamadas de mala calidad de 34 a 43 y en el caso de el *R-factor* las puntuaciones se calculan mediante fórmula algorítmica dando un factor en un rango de 0 a 100 y según este valor se establecen las categorías de calidad de voz, el valor de 100 no se da por las limitaciones de los terminales de usuario, los niveles recomendables en este método oscilan en el rango de 65 – 85, en la TABLA 4.4 se muestra una mapeo de los valores que se dan entre estos métodos.

Categoria de Calidad	MOS (teórico)	MOS (en la práctica)	Rango Métrica ICPIF	Rango R-Factor
Excelente	5	> 4.5	< 4	> 95
Alta	4	4.0 - 4.4	4-14	80-94
Media	3	3.6 - 4.0	14-24	70-79
Baja	2	2.7-3.5	24-34	60-69
Pobre	1	1.1- 2.6	34-44	50-59
No inteligible	0	0.1-0.9	44-50	0-49

TABLA 4.4 REFERENCIA DE VALORES QoS DE VOZ
(Fuente: Reseña UIT-T Series G)

4.3.2.2 Escenarios de pruebas para mediciones de QoS de VoIP

Para las mediciones de QoS se estimó considerar el Codec g729a por codificar en 8 kbps, BW que resulta representativo para las mediciones de calidad de voz, los escenarios desplegados son en un entorno WAN limitado conforme lo referido en la sección 4.2.10, y desplegados en el laboratorio utilizado para pruebas funcionales de concepto (ver sección 5.1), utilizándose para este caso los elementos que se muestran en las FIGURA 4.18 y FIGURA 4.19 (ver secciones 4.3.2.3 y 4.3.2.4).

Considerando que estos escenarios aplican para los casos en que el TO utilice la infraestructura de la red empresarial de TdP (sección 3.3.6) es decir que alquilen enlaces directos para servicios de VoIP, las mediciones se realizan sobre las tasas objetivo de transmisión para un perfil de alta velocidad (2048 kbps) y un perfil de baja velocidad (512 kbps). Se ha utilizado comandos de línea (CLI) para con configurar en los elementos de red las interfaces, entorno con y sin QoS, VPN-VRF, protocolos y funcionalidad IP SLA (ver nota de pie 13 pág. 87) que permite monitorear el performance de la red WAN evaluando los siguientes parámetros:

- RTT (*Round trip time*) - Tiempo de ida y vuelta que los paquetes tardan en ir de A a B y de B a A.

- *Latency o Packet Late Arrival* - Paquetes que llegan o se reciben con retardo.
- *Average Jitter* - El promedio estimado del valor del jitter observado en el último paquete (*jitter* en VoIP es una interrupción en la voz o en una videoconferencia).
- *Packet Loss* - Paquetes perdidos entre ambos peer desde A a B y B a A.
- ICPIF - Métrica que muestra la calidad de voz en Routers Cisco.
- MOS - Valor estimado para medir la calidad de voz conforme la UIT-T.

4.3.2.3 Escenario 1 – Pruebas sin QoS (BE)

En el escenario 1 se ha medido el usuario con teléfono A1 analógico conectado al router A1 [Cisco 1811 *Integrated Services Router* - IOS *Release* 12.4(11)T] con tarjeta de voz con interface FXO/FXS (*Foreign Exchange Office/Station*) que hace la codificación g729A, con función CME (*Cisco Unified CallManager Express*) para señalización de gateway con protocolo SCCP (*Skinny Call Control Protocol*) y la funcionalidad IP SLA *Monitor* para habilitar el monitoreo. En el router *source router* 1 acceso para el teléfono A1 se le ha considerado como datos por defecto en BE (*best effort)* es decir sin prioridad, este escenario se muestra en la FIGURA 4.18.

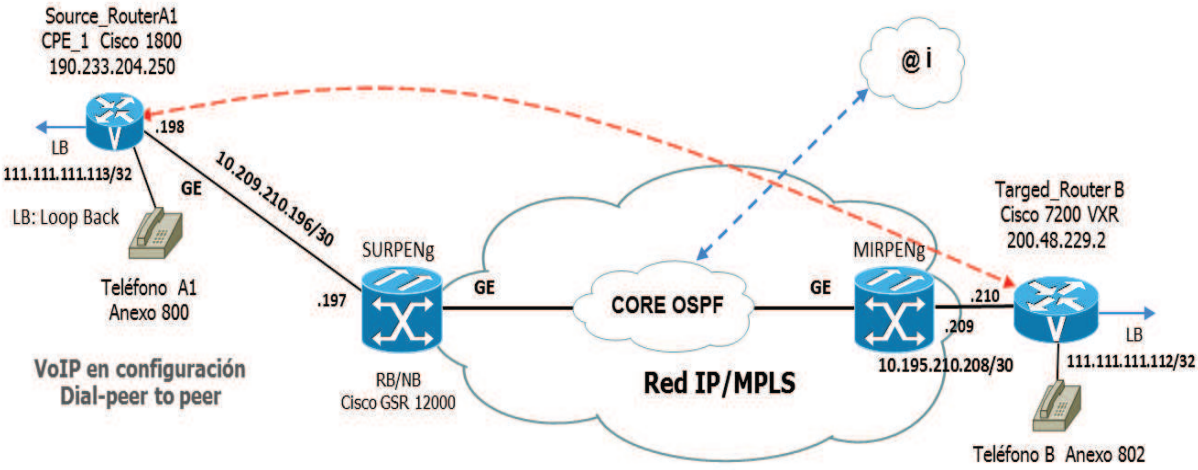


FIGURA 4.18 ESCENARIO 1 – MEDICIÓN DE VoIP SIN QoS
(Fuente: Elaboración propia)

En el lado remoto se configura el router B (*targed router*) como destino *dial peer to peer*, similar al router A1 y agregando la funcionalidad IP SLA *Responder*[16] para que

[16] *IP SLA Responder* es un componente embebido en el IOS Cisco del dispositivo de enrutamiento de destino que permite al sistema responder a los requerimientos de los paquetes *IP SLA monitor*. El *IP SLA responder* no requiere de sondas dedicadas y estadísticas adicionales no disponibles a través de mediciones basadas en ICMP *(Internet Control Message Protocol*) estándar. Esta patente proporciona un mecanismo a través del cual es notificado por cual puerto debe escuchar y responder.

envié la respuesta a la solicitud de requerimiento de medición enviada desde la fuente (*source router),* este flujo de comunicación en la red de transporte es ruteada en IP plano. Como *core* de red IP/MPLS se utilizaron los routers GSR 12000 SURPENg y MIRPENg que tienen conectividad en OSFP con la red IP/VPN empresarial descrita en la sección 3.3.6, por la cual fluye tráfico *up-down* de datos y video hacia y desde Internet, por lo tanto la comunicación en IP del teléfono A1 (anexo 800) al teléfono B (anexo 802) es afectada por dicho tráfico de internet dado que no se encuentra con configuración de red privada virtual en el *core*.

4.3.2.4 Escenario 2 – Pruebas con QoS (DSCP)

En el escenario 2 se ha medido el usuario A2 con los mismos elementos de red que físicamente se han considerado en el escenario 1, en la que en el *source router* 2 se ha adicionado una plantilla de calidad de servicio que permite priorizar el tráfico de voz en base a marcación de paquetes, para realizar este marcado se ha habilitado en el router 2 de acceso una configuración DSCP (*Differentiated Service Code Point*) usando para este caso el valor 101110 que corresponde al EF (*Expedited Forwarding*) o *Premium* (46) para asegurar que exista un flujo confiable para esta comunicación IP y sobre la tasa objetivo de alta velocidad (2Mbps) el flujo sea enviada al siguiente elemento de red con el menor retardo posible hasta un máximo de 512 kbps durante los periodos de congestión o contingencias en la red y para el caso del perfil de baja velocidad (512 kbps) el flujo garantizado es de 128 kbps, este escenario se muestra en la FIGURA 4.19.

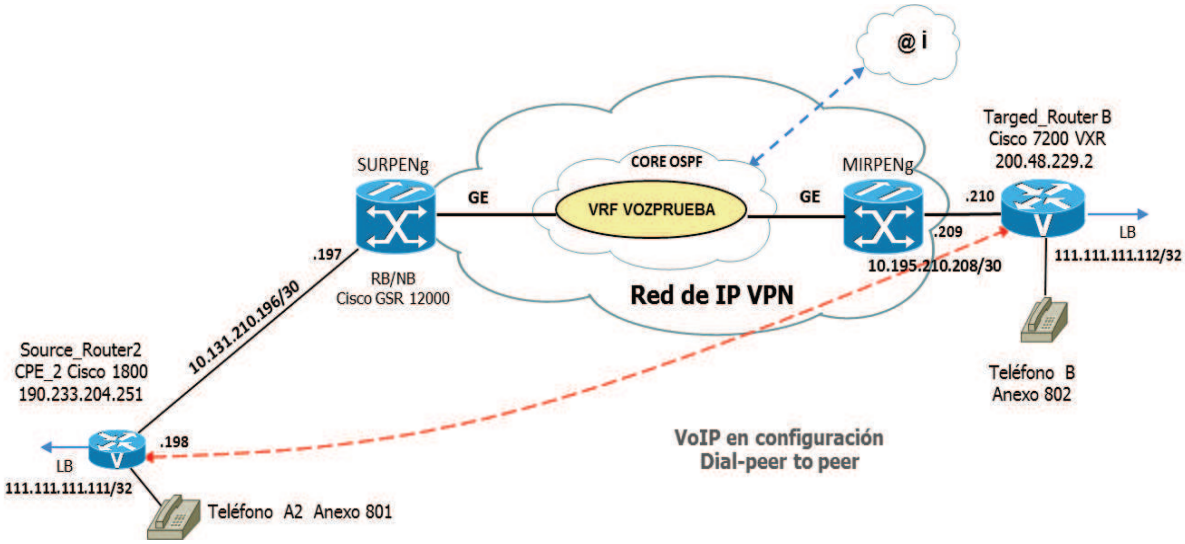


FIGURA 4.19 ESCENARIO 2 – MEDICIÓN DE VoIP CON QoS
(Fuente: Elaboración propia)

En el lado destino se ha configurado el router B con la misma configuración utilizada en el escenario 1 y en el *core* se ha configurado una VPN con VRF denominada VOZPRUEBA, la cual no es afectada por el tráfico de Internet por encontrarse en entorno privado. La información de valores de calidad de voz obtenidos correspondientes tanto al Router A1 del CPE_1 como al Router A2 del CPE_2 se observan en el *shell* de los routers Cisco 1800., en el ANEXO H se muestran estos valores de QoS medidos en ambos escenarios.

No se ha considerado un escenario de VoIP sobre Internet dado que al ser compartido por múltiples redes y no ser controlado, implica que los usuarios se afecten unos a otros ya que no se garantiza QoS, p.e: el video (aproximadamente el 30% del tráfico de internet) o descarga de archivos mediante software P2P (aprox. el 20% del tráfico de internet), afecta el rendimiento de toda la red, produciendo en alta congestión o en horas pico que usuarios no puedan generar llamadas de VoIP con normalidad e incluso no pueden acceder a Internet o navegan demasiado lento. El promedio de los resultados más representativos de las mediciones monitoreadas se muestran en la TABLA 4.5, haciendo relevancia que se tomaron varias mediciones, muchas de las cuales eran iguales o cambiaban en una mínima diferencia que no afecta el cuadro resumen.

Se valida que al aplicarse la marcación de paquetes a la entrada con DSCP con categoría *Premium,* valor (46) y configuración VPN-VRF en el *core*, en las llamadas hechas sobre el escenario 2 la QoS se mejora claramente en relación a las llamadas del escenario 1 que solo hacen su mejor esfuerzo *(best effort*) en la red ya que no cuenta con VPN-VRF en el *core* para soportar las condiciones de transmisión en la red, así mismo se valida que a mayor ancho de banda la calidad de la voz aumenta relativamente.

MEDICIONES	Escenario 1 sin QoS		Escenario 2 con QoS	
	2048 kbps	512 kbps	2048 kbps	512 kbps
RTT (ms)	50	62	20	24
Latency (ms)	10	20	0	2
Jitter (ms)	20	30	1	3
Packet Lost	1	3	0	0
ICPIF	18	25	4	11
MOS	3.74	3.46	4.67	4.12
Calidad	Media	Baja	Excelente	Alta

TABLA 4.5 COMPARACIÓN DE MEDICIONES SIN QoS Y CON QoS
(Fuente: Elaboración propia)

Se debe tener en cuenta que la utilización de mayor BW si bien representa una mejora en la calidad de la voz, también representa un aumento de costos en recursos de red y equipamiento y por lo tanto incide en las tarifas de interconexión entre las redes de transporte de los diferentes operadores (cable submarino, transponder satelital, F.O, radio etc.), repercutiendo comercialmente en aumento de tarifas al usuario final. La tendencia tecnológica es abaratar los costos de red y por ende se beneficia el usuario final, para lo cual una forma es reducir el BW en los servicios pero garantizando un adecuada QoS equilibrando la relación costo-calidad del servicio.

Del resultado de las pruebas observamos que la calidad de voz por red de paquetes IP en ambientes controlados se va acercando a la calidad de voz por red de circuitos TDM siempre que se considere un adecuado BW, con el avance tecnológico se han agregado mejoras mediante el uso de protocolos y algoritmos que permiten asegurar QoS, compensando el efecto de deterioro de la señal que se produce al codificar y comprimir cada vez más la voz para reducir el uso de BW. En la evolución tecnológica para las nuevas plataformas de voz, como es el caso del IMS (*Multimedia Subsystem*), una de sus cualidades es el nuevo sistema de QoS que permitirá a las aplicaciones requerir anticipadamente determinada prioridad o cantidad de BW *end to end* llegando hasta el usuario final en VPNs. Esta nueva tecnología IMS se viene desarrollando para evolucionar la NGN como sistema IP global que brinde telefonía IP clase 5 con convergencia de voz, es decir integrando la red de telefonía Fija con la red de telefonía Móvil (Celular) en una única red con QoS.

4.3.3 Parámetros de Configuración

Como referencia de los parámetros de configuración[17] del isp1 en los agregadores ERX, E320 de Juniper y en los *switches* (actuando como NB) NE80E de Huawei de TdP, en la TABLA 4.6 se muestra un ejemplo que indica los POPs a los cuales convergen los nodos que comprenden a los diferentes agregadores que van a encaminar el tráfico, en este caso particular de la *vrf* correspondiente al isp1, para lo cual es necesario definir el *Route Distiguisher* para identificación del nodo*, Route Target* para importación-exportación de rutas y definir la *Loopback* para cada nodo (referenciado en sección 2.2.4 sobre tecnología MPLS).

[17] En secciones posteriores se muestran en detalle las configuraciones en los equipos, la idea no es describir cada comando lo cual se encuentra en los manuales del fabricante, sino más bien aclarar a nivel de bloques las funcionalidades principales que realizan o deben realizar los equipos involucrados.

Nº	POP	Nodo	Modelo	Nombre VRF	Route Distinguisher	Route Target Import/Export	IP Loopback Agregación
1	Washington	WASNB1	NE80E	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.1
		ERX-1-WAS	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.2
		ERX-3-WAS	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.3
		ERX-4-WAS*	E320	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.4
2	El Cercado	ERX-1-CER*	E320	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.5
3	San Isidro	SISNB1	NE80E	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.6
		ERX-1-SIS	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.7
		ERX-3-SIS	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.8
4	Lince	ERX-1-LIN*	E320	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.9
		ERX-1-MAG	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.10
5	Miraflores	MIRNB1	NE80E	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.11
		ERX-1-MIR	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.12
		ERX-2-MIR	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.13
		ERX-3-MIR*	E320	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.14
6	Higuereta	ERX-1-HIG	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.15
		ERX-2-HIG	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.16
		ERX-3-HIG*	E320	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.17
7	Monterrico	MONNB1	NE80E	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.18
		ERX-1-MON	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.19
		ERX-2-MON	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.20
		ERX-3-MON*	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.21
8	Los Olivos	ERX-1-LOL	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.22
		ERX-2-LOL	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.23
9	San José	ERX-1-SJO	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.24
		ERX-2-SJO	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.25
10	Arequipa	ARENB1	NE80E	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.26
		ERX-1-ARE	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.27
		ERX-2-ARE	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.28
11	Ica	ERX-1-ICA	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.29
12	Juliaca	ERX-1-JUL*	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.30
13	Cuzco	ERX-1-CUS	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.31
14	Tacna	ERX-1-TAC	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.32
15	Trujillo	TRUNB1	NE80E	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.33
		ERX-1-TRU	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.34
		ERX-2-TRU	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.35
16	Chimbote	ERX-1-CHB*	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.36
17	Cajamarca	ERX-1-CAJ	ERX 1440	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.37
18	Chiclayo	ERX-1-CHY	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.38
19	Piura	ERX-1-PIU	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.39
20	La Oroya	ERX-1-ORY	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.40
21	Huancayo	ERX-1-HYO	ERX 1410	isp1	6147:50101	6147:50101	10.116.2.41

TABLA 4.6 PLANTILLAS DE CONFIGURACIÓN DE LA VPN
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

4.3.4 Configuración de la VPN del TO en los BRAS-NISIP

En las FIGURAS 4.20, 4.21 y 4.22 se muestran equipos agregadores Juniper de TdP con los cuales se han realizado pruebas en laboratorio (ver ANEXO L).

4.3.4.1 Configuración Juniper ERXs 1400 y E320s.

ip vrf isp1
rd 6147:50101
description VRF_de_ISP1
route-target both 6147:50101
exit [18]

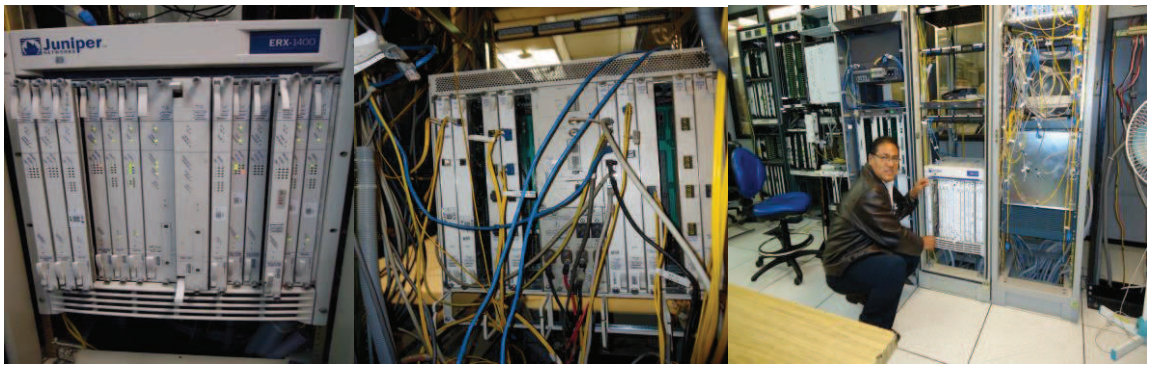


FIGURA 4.20 BRAS – NISIP - AGREGADOR ERX 1400 DE JUNIPER
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

FIGURA 4.21 BRAS – NISIP - AGREGADOR E320 DE JUNIPER
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

virtual-router :isp1
config t
interface loopback 10
ip address 10.116.2.8 255.255.255.255

[18] Se configura la VRF en el agregador indicando el nombre de la VRF: "isp1", una etiqueta *"Route Distinguisher"* en este caso valor de RD=6147:50101) para hacer únicas las direcciones VPNv4 en la red. Se indica el valor del *"Route Target"* (RT) con el que se exporta e importa rutas de esa VRF, en este caso ambos "*both*"; puede exportarse con más de un valor de RT e importarse rutas que contengan cualquiera de varios RT donde el valor de RT al exportar puede o no ser el mismo que al importar.

ip description Loopback_Agregacion_ISP1
exit [19]
router bgp 6147
address-family ipv4 unicast vrf isp1
no synchronization
no auto-summary
redistribute static
redistribute connected
redistribute access-internal
exit-address-family [20]

4.3.4.2 Configuración de la VPN del TO en los NB Huawei NE80E.

ip vpn-instance isp1
route-distinguisher 6147:50101
vpn-target 6147:50101 export-extcommunity
vpn-target 6147:50101 import-extcommunity [21]

FIGURA 4.22 SWITCH CAPA L2/L3/L4 NE80E DE HUAWEI
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

bgp 6147
peer 10.115.0.251 as-number 6147
peer 10.115.0.251 connect-interface LoopBack0

---

[19] Se define el router virtual en el modo de configuración para el ISP1, donde se configura su *loopback* interna, IP y descripción para fines administrativos; el *loopback* actúa como un dispositivo de interfaz de red virtual utilizado para redirigir el tráfico de vuelta y capacidad de probar la interfaz lógica para el caso de envío datos BGP.
[20] Se configura de manera global el router virtual para el ISP1 con protocolo bgp en un sistema autónomo en esta caso AS=6147, en IPv4 modo *unicast*, se deshabilita la restauración por default de sumarización automática de rutas de subredes en rutas a nivel de red usando el comando *"no auto-summary",* al no requerirse un protocolo de enrutamiento interno también se deshabilita la sincronización mediante el comando "*no synchronization*", esto es debido a que el BGP por defecto publica las redes que se corresponden con una ruta interna presente en la tabla de enrutamiento del router, de esta forma no se publican dichas redes aun cuando se declare una red con el comando *network* utilizando una ruta aprendida por un protocolo de enrutamiento interno; luego se redistribuye hacia la VRF las rutas configuradas estáticamente, las conectadas directamente y los accesos internos.
[21] Se define la VPN en el nodo de borde para una instancia ISP1 con etiqueta *"Route Distinguisher"* (valor de RD=6147:50101) para identificación de la ISP1 con la que se exportará e importará la rutas de la vpn establecida.

peer 10.115.0.253 as-number 6147
peer 10.115.0.253 connect-interface LoopBack0
ipv4-family unicast
undo synchronization
peer 10.115.0.251 enable
peer 10.115.0.251 label-route-capability
peer 10.115.0.253 enable
peer 10.115.0.253 label-route-capability [22]
ipv4-family vpnv4
policy vpn-target
peer 10.115.0.251 enable
peer 10.115.0.253 enable
ipv4-family vpn-instance isp1
import-route direct [23]

4.4 Requerimientos adicionales

4.4.1 Conectividad con el centro de servicios (CS)

A manera de un ejemplo representativo de conectividad con el CS de TdP, en la FIGURA 4.23 se muestra la conectividad VPN e IP de 5 ISPs o TOs hacia los AAA de TdP.

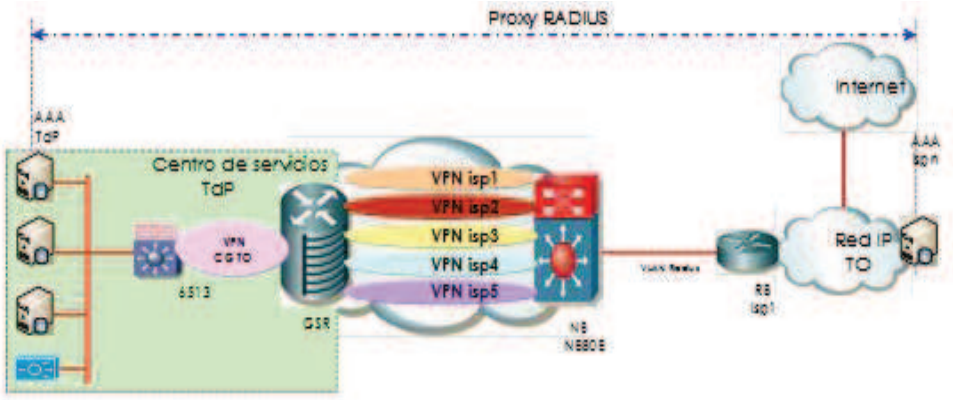


FIGURA 4.23 MODELO DE CONECTIVIDAD IP DE LOS AAA
(Fuente: Elaboración propia)

[22] Se configura en modo global el protocolo BGP en el sistema autónomo AS=6147, se define la familia IPv4 en modo *unicast*, se deshabilita la sincronización con el comando *undo synchronization* debido a que no se requiere un protocolo de enrutamiento interior ya que el BGP por defecto publica las redes que se corresponden con un direccionamiento interno presente en la tabla de encaminamiento del switch L3, de esta forma, no se publica una ruta aprendida por un protocolo de enrutamiento interno aun cuando se declare una red con el comando *network*; luego se configura las redes pares peer para el sistema autónomo 6147, se define la *loopback* como interfaz de red virtual y se habilita la capacidad de etiquetado BGP para el encaminamiento punto a punto.

[23] Se activa el VPNv4 en la familia IPv4 para intercambiar información de la tabla de encaminamiento de la VRF entre las VPN de nodos de borde y se define la política de redes de pares habilitando los *peer* y finalmente se habilita en la instancia ISP1 la política de importación de rutas directas.

En el CS de TdP se encuentra la granja de servidores de la red IP/MPLS. Hacia allí se debe tener conectividad con los servidores RADIUS de TdP por cada VPN de los TOs, se hace notar que para la conexión *Proxy* RADIUS entre el RB del TO para este ejemplo se le considera vía VLAN específica para RADIUS independientemente del tráfico. Es importante configurar reglas de seguridad en los *firewall* (FW) del CS para permitir sólo la comunicación de AAA entre el RADIUS de TdP y RADIUS del TO, la recomendación es implementar una política restrictiva donde se deniegue todo el tráfico excepto el que está explícitamente permitido.

Los *firewalls* de TdP deben obstruir todo el tráfico y sólo habilitar expresamente los puertos UDP 1812, 1813, 1645 y 1646 y los servicios adicionales que se necesiten para la gestión e interoperación con el CS. En la TABLA 4.7 se muestran los parámetros de configuración para los GSR (*Giga Switch Routers*) del CS.

Nº	POP	Nodo	Modelo	Nombre VRF	Route Distinguisher	Route Target Import/Export	IP sub_if
1	San Isidro	GSRSIS	12406	ProyGigaADSL	6147:50110	6147:50110	10.118.2.194/29 10.118.2.202/29
		6513SIS	6513	ProyGigaADSL	6147:50110	6147:50110	10.118.2.196/29 10.118.2.204/29
2	Washington	GSRWAS	12406	ProyGigaADSL	6147:50110	6147:50110	10.118.2.193/29 10.118.2.201/29
		6513WAS	6513	ProyGigaADSL	6147:50110	6147:50110	10.118.2.195/29 10.118.2.203/29

TABLA 4.7 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN EN GIGA SWITCH ROUTER
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

4.4.1.1 Plantilla de configuración en GSR CS

ip vrf TercerOperador [24]
rd 6147:50110
route-target export 6147:50110
route-target import 6147:50110
route-target export 6147:50101 --------> route-target export 6147:50105
route-target import 6147:50101 --------> route-target import 6147:50105
router ospf 10 vrf TercerOperador
log-adjacency-changes

[24] Para el acceso hacia el Centro de Servicios CS (granja de servidores RADIUS, LDAP, etc.) se hace a través de un GSR 12000 de Cisco se configura en una VRF específica para TO (en este caso particular para el ISP1 identificado con RD= 6147:50110) las políticas de importación y exportación, se define la VRF en las redes en OSPF en el proceso 10 y Area 0 (dado que en el CS aun operan con este protocolo de enrutamiento), se habilita los *logs* con el comando *log-adjacency-changes* para el monitoreo de los cambios de adyacencias disponible en VPNv4 y dado que el ASBR (Autonomous System Boundary *Route)* tiene una ruta por defecto existente se usa el comando *default-information originate always* para que no se haga dependiente de rutas por defecto generadas por otras áreas OSPF adyacentes.

network 10.118.2.192 0.0.0.7 area 0 -------> network 10.118.2.200 0.0.0.7 area 0
default-information originate always
router bgp 6147 [25]
address-family ipv4 vrf redistribute connected
redistribute static
redistribute ospf 10 vrf no synchronization
exit-address-family

En la FIGURA 4.24 se muestra un *Giga Switch Router* Serie 12000 de Cisco y en la FIGURA 4.25 se ilustran los *switches* de borde NE40E de Huawei, switches de acceso Metro Ethernet S8512 y un agregador de prueba de mediana capacidad VXR ce Cisco, que son parte de la actual infraestructura del Centro de Servicios de TdP.

FIGURA 4.24 GIGA SWITCH ROUTER 12000 DE CISCO
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

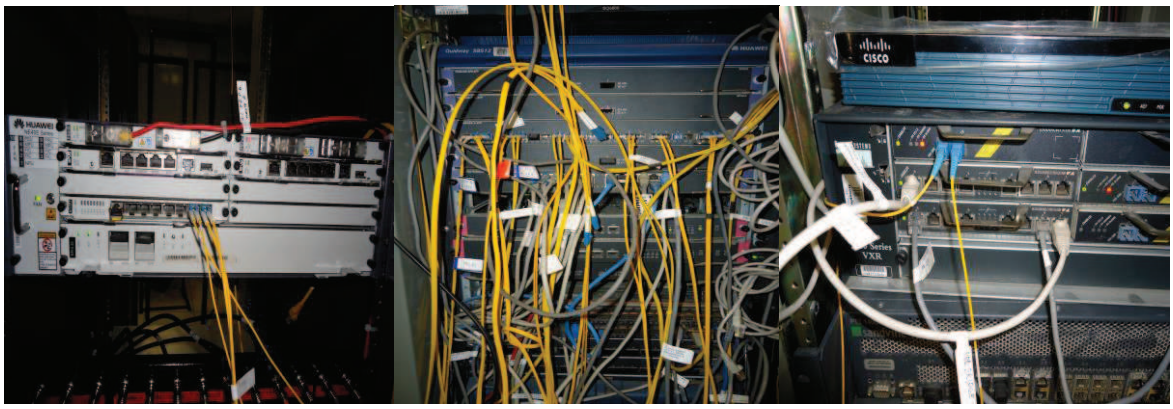


FIGURA 4.25 SW NE40E - 8512 HUAWEI Y BRAS VXR 7600 CISCO
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

[25] Se configura en modo global el router virtual con protocolo BGP en el sistema autónomo definido como sistema autónomo 6147, dentro de la familia IPv4 se redistribuye hacia la VRF las rutas conectadas directamente y configuradas estáticamente, así mismo se redistribuye en la VRF el protocolo OSPF en el proceso 10 deshabilitando la sincronización dado que el BGP por defecto publica las redes que se corresponden con una ruta interna presente en la tabla de enrutamiento del router GSR.

4.4.1.2 Parámetros de interconexión en los NB de TdP

En la TABLA 4.8 se establecen los parámetros de configuración para los NB NE80E, se toma como ejemplo 5 ISP o TOs para ilustración de las configuraciones.

Nº	POP	Nodo	TO	Puertos NE80E	VLANs	IP Address
1	San Isidro	SIS_NB_NE80E	isp1	gi12/0/0	1000: Trafico 1001: Radius	10.130.0.0/30 10.130.0.4/30
		SIS_NB_NE80E	isp2	gi12/0/1	1010: Trafico 1011: Radius	10.130.1.0/30 10.130.1.4/30
		SIS_NB_NE80E	isp3	gi12/0/2	1020: Trafico 1021: Radius	10.130.2.0/30 10.130.2.4/30
		SIS_NB_NE80E	isp4	gi12/0/3	1030: Trafico 1031: Radius	10.130.3.0/30 10.130.3.4/30
		SIS_NB_NE80E	isp5	gi12/0/4	1040: Trafico 1041: Radius	10.130.4.0/30 10.130.4.4/30
2	Washington	WAS_NB_NE80E	isp1	gi12/0/0	1000: Trafico 1001: Radius	10.130.0.0/30 10.130.0.4/30
		WAS_NB_NE80E	isp2	gi12/0/1	1010: Trafico 1011: Radius	10.130.1.0/30 10.130.1.4/30
		WAS_NB_NE80E	isp3	gi12/0/2	1020: Trafico 1021: Radius	10.130.2.0/30 10.130.2.4/30
		WAS_NB_NE80E	isp4	gi12/0/3	1030: Trafico 1031: Radius	10.130.3.0/30 10.130.3.4/30
		WAS_NB_NE80E	isp5	gi12/0/4	1040: Trafico 1041: Radius	10.130.4.0/30 10.130.4.4/30
3	Miraflores	MIR_NB_NE80E	isp1	gi12/0/0	1000: Trafico 1001: Radius	10.130.0.0/30 10.130.0.4/30
		MIR_NB_NE80E	isp2	gi12/0/1	1010: Trafico 1011: Radius	10.130.1.0/30 10.130.1.4/30
		MIR_NB_NE80E	isp3	gi12/0/2	1020: Trafico 1021: Radius	10.130.2.0/30 10.130.2.4/30
		MIR_NB_NE80E	isp4	gi12/0/3	1030: Trafico 1031: Radius	10.130.3.0/30 10.130.3.4/30
		MIR_NB_NE80E	isp5	gi12/0/4	1040: Trafico 1041: Radius	10.130.4.0/30 10.130.4.4/30
4	Monterrico	MON_NB_NE80E	isp1	gi12/0/0	1000: Trafico 1001: Radius	10.130.0.0/30 10.130.0.4/30
		MON_NB_NE80E	isp2	gi12/0/1	1010: Trafico 1011: Radius	10.130.1.0/30 10.130.1.4/30
		MON_NB_NE80E	isp3	gi12/0/2	1020: Trafico 1021: Radius	10.130.2.0/30 10.130.2.4/30
		MON_NB_NE80E	isp4	gi12/0/3	1030: Trafico 1031: Radius	10.130.3.0/30 10.130.3.4/30
		MON_NB_NE80E	isp5	gi12/0/4	1040: Trafico 1041: Radius	10.130.4.0/30 10.130.4.4/30
5	Trujillo	TRU_NB_NE80E	isp1	gi12/0/0	1000: Trafico 1001: Radius	10.130.0.0/30 10.130.0.4/30
		TRU_NB_NE80E	isp2	gi12/0/1	1010: Trafico 1011: Radius	10.130.1.0/30 10.130.1.4/30
		TRU_NB_NE80E	isp3	gi12/0/2	1020: Trafico 1021: Radius	10.130.2.0/30 10.130.2.4/30
		TRU_NB_NE80E	isp4	gi12/0/3	1030: Trafico 1031: Radius	10.130.3.0/30 10.130.3.4/30
		TRU_NB_NE80E	isp5	gi12/0/4	1040: Trafico 1041: Radius	10.130.4.0/30 10.130.4.4/30
6	Arequipa	ARE_NB_NE80E	isp1	gi12/0/0	1000: Trafico 1001: Radius	10.130.0.0/30 10.130.0.4/30
		ARE_NB_NE80E	isp2	gi12/0/1	1010: Trafico 1011: Radius	10.130.1.0/30 10.130.1.4/30
		ARE_NB_NE80E	isp3	gi12/0/2	1020: Trafico 1021: Radius	10.130.2.0/30 10.130.2.4/30
		ARE_NB_NE80E	isp4	gi12/0/3	1030: Trafico 1031: Radius	10.130.3.0/30 10.130.3.4/30
		ARE_NB_NE80E	isp5	gi12/0/4	1040: Trafico 1041: Radius	10.130.4.0/30 10.130.4.4/30

TABLA 4.8 PARÁMETROS DE INTERCONEXIÓN EN LOS NB DE TDP
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

4.4.1.3 Plantilla de configuración en NE80E

La configuración para los NB (p.e.: para el ISP1) es la que se indica líneas abajo, la diferencia entre los diferentes NB se da en la interface y direccionamiento IP de las VPNs a ser utilizadas según ISP (en la FIGURA 4.20 se muestra el *Switch* L2/L3/L4 NE80E de HUAWEI).

bgp 6147 [26]
ipv4-family vpn-instance isp1
import-route static
ip route-static vpn-instance isp1
interface gigabitethernet 12/0/0
ip binding vpn-instance isp1
ip address 10.130.0.1 255.255.255.252

4.4.2 Conectividad con el tercer operador

4.4.2.1 Requerimientos lado TdP

Para la interconexión de los NB con el RB del TO se requiere que los NB tengan habilitado en la interfaz de interconexión lo indicado líneas abajo:

- La interconexión será a través de una interfaz física óptica SFP GE.
- Aplicar las plantillas de configuración que contemple la configuración eBGP, VLANs, *policing* para tráfico entrante y *shapping* para tráfico saliente.
- El caudal para la VLAN de RADIUS debe ser configurado en 2Mbps, el modelo y marca de RADIUS del lado de TdP es 8950 AAA v.8 de Alcatel-Lucent (antes *NavisRadius – Vital AAA*) con plataforma *Sun Microsystems, Solaris SPARC & x86*: *Release* 11 (incluye soporte para protocolo DIAMETER para conexiones internas de seguridad, SSH, SNMP y EAP).
- El caudal para la VLAN de servicio (tráfico Internet) debe ser configurado de acuerdo a la petición comercial al segmento mayorista de TdP.
- El alcance de la instalación del enlace entre TdP y el TO será tratado específicamente con TdP.

Para ilustrar el esquema de conectividad se muestra como ejemplo la interconexión de 5 ISPs/TOs (ver FIGURA 4.26) a las que se le da un tratamiento de Sistemas Autónomos (AS) independientes. Se consideran equipos existentes en la red de TdP tales como nodos de borde de Huawei NE80, equipos agregadores Juniper ERX 1440, E320 o Huawei ME60, equipos DSLAMs Huawei MA 5100, ALCATEL ASAM 7350 y equipos de acceso de cliente (más comercializados) módems routers *Zyxel y SpeedTouch* de Alcatel, y del lado del TO se considera routers de interconexión bien de tecnología Huawei,

[26] Se configura en modo global el protocolo BGP en el sistema autónomo AS=6147, se define la familia IPv4 para la VPN en una instancia ISP1 del nodo de borde y se habilita el ruteo estático y configura la importación de rutas estáticas para dicha instancia; se habilita la interface (IP y puerto) hacia el router del tercer operador, en este caso específico ISP1 puerto *giga ethernet*12/0/0 e IP de ejemplo 10.130.0.1 con mascara 30. El comando *binding* se utiliza para vincular la VPN o referenciarla a la instancia correspondiente al ISP1.

Juniper o Cisco pudiendo ser de cualquier otro suministrador que cumpla con los requerimientos técnicos (ver secciones 4.4.4.2 y 5.8).

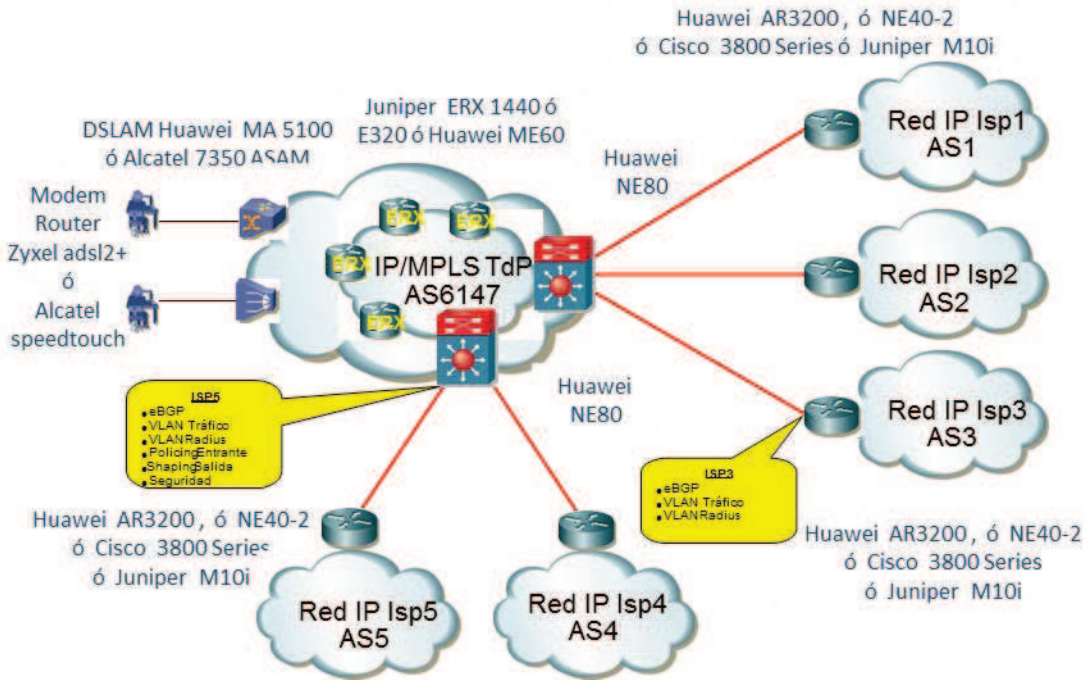


FIGURA 4.26 CONECTIVIDAD CON EL TERCER OPERADOR
(Fuente: Elaboración propia)

Para la provisión de la red TdP cuenta con una plataforma mecanizada SirADSL (Sistema Información de Red ADSL) que permite configurar tanto su red como provisionar sus usuarios en forma automática. Bajo ese contexto la provisión para la red de acceso del TO y la provisión inicial de los usuarios del TO se recomienda que sean prestados por TdP previa negociación por el servicio.

Requerimientos lado TO

En las secciones siguientes se describen los requerimientos mínimos del TO relacionados con la provisión y elementos de red.

Provisión de Red

- Si el acceso Internet lo proporciona el TO, este deberá considerar entregar a TdP un pool de direcciones públicas IP que serán distribuidas en los agregadores hasta en /24 por agregador.
- Los atributos RADIUS que TdP enviará al TO serán:
  - *User*
  - *Pass word*.

- *NasPort*.
- VRF (Virtual-router, nombre de VRF o equivalente).

- Estos atributos serán procesados bajo responsabilidad del TO.
- No es indispensable que el TO tenga servidores LDAP, es opcional pero es recomendable que lo implemente.
- El TO debe tener un AS, público o privado, en este último caso TdP le debe asignar el número de AS privado.

Provisión de Usuario

Como se ha indicado en los requerimientos del lado de TdP, la provisión inicial del usuario del TO se recomienda que sea realizada vía la plataforma SirADSL que se encuentra sistematizada para la provisión del servicio GigADSL (descrito en la sección 3.1.1) que actualmente gestiona TdP.

En el entorno GigADSL el mapeo de un usuario ADSL a una VPN se configura en toda la cadena que interviene para brindar el servicio de acceso BA ADSL vía la plataforma de sistema información de red ADSL antes mencionada, que interactúa mecanizadamente a nivel de interfaces con los elementos de red (servidores RADIUS, LDAP, BRAS, DSLAMs, NB, etc.) involucrados.

Para la provisión de los usuarios del TO vía el GigADSL de TdP se le debe asignar una VPN y un dominio (p.e.: ISP1 y @operador1) que son inscritas en las bases de datos LDAP que soportan a los RADIUS que interactúan dinámicamente con los agregadores BRAS vía el atributo RADIUS VSA (*Vendor Specific Attribute)* que transporta la información de servicio y dominio del usuario.

Esta información es transportada y mapeada con la VPN/VRF del TO configurada en el agregador BRAS de TdP (FIGURAS 4.20 y 4.21) y en los casos que se requiera con el RADIUS remoto del TO (vía *proxy* RADIUS). Una vez validada la información del usuario se da curso al establecimiento de la conectividad para el acceso al servicio de BA.

Los atributos VSA permiten que los clientes RADIUS que soportan los elementos de red *multivendors* que actúan como servidores de VPNs puedan admitir sus propios atributos RADIUS exclusivos. En el caso particular de los agregadores ERX de TdP se usa el atributo Juniper VSA 26.1 por ser dichos agregadores de marca *Juniper Unisphere* /*Nokia Siemens Network* (ejemplo: TABLA 4.9 para 5 ISP).

Servicio	Dominio	RADIUS VSA
ISP 1	@operador1	RADIUS VSA 26:1 = isp1_ operador1
ISP 2	@operador2	RADIUS VSA 26:1 = isp2_ operador2
ISP 3	@operador3	RADIUS VSA 26:1 = isp3_ operador3
ISP 4	@operador4	RADIUS VSA 26:1 = isp4_ operador4
ISP 5	@operador5	RADIUS VSA 26:1 = isp5_ operador5

TABLA 4.9 PARÁMETROS PARA PROVISIÓN DE USUARIOS
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

Para las altas nuevas se propone el uso de una cuenta específica, según el formato del Speedy convencional:

- *User*: ciudadinscripcion@isp1.
- *Pass word*: ciudadinscripcion.
- *NasPort.*
- VRF.

Para asegurar la compatibilidad se requiere que el diccionario "*unisphere7-2.dct*" esté cargado y disponible en los servidores RADIUS. Las demás configuraciones en los DSLAMs y agregadores son iguales al servicio *Speedy* convencional de TdP incluyendo la escalera de velocidades. Respecto a los servicios de pos-provisión como las nuevas altas, bajas, averías y cambios de velocidades de usuarios del TO, dado que el servicio de acceso BA del TO utiliza la infraestructura interna de TdP, se recomienda y propone que sean también responsabilidad de TdP, en todo caso sujeto a negociarse con el TO.

4.4.2.2 Requerimientos lado TO

El dimensionamiento de los elementos de red dependerán del volumen de tráfico para la conexión del TO con TdP y si se va a brindar servicio de telefonía IP, por temas de inversión este último caso se considera como opcional, en ese sentido para los servicios de acceso de Internet, datos, VoIP y video se requiere básicamente para la interconexión con TdP un router que actúa como borde que soporte mínimamente lo siguiente:

- Perfomance de *circuit-speed* WAN hasta 1000 Mbps o mayor (similar a Cisco 3945E (3900 Series) o Huawei AR3200 Series o Juniper M10i.Series.
- Interfaz óptica GE SFP (*Small form-factor pluggable*) tranceivers de 10Km y 40Km.
- Soporte de eBGP v4.0 y soporte 802.1Q, servicios de VPN, SSL e IPSec.
- Conectividad LAN, WAN y xDSL, *Througput* mínimo de 100 Mbps.

- Procesamiento digital de señales (DSP) para voz y video.
- Memoria mínima de 1G, soporte alimentación por ethernet (PoE) 802.3af.
- Compatible con interfaces de multiplexación por división de tiempo (E1/E3).
- Opciones de conectividad inalámbrica y conectividad xDSL.
- Opción de módulos de firewall y procesamiento de llamadas.
- Amplias posibilidades de crecimiento.

Para fines de evaluación estimación de costos totales de inversión y rentabilidad, en el capítulo 5 se consideran requerimientos complementarios de un PoP completo para un TO incluyendo servicios de telefonía IP y la red de acceso Wi-Fi a la última milla.

4.5 Evolución de la red propuesta

Se describió en la sección 4.2.3 que en el servicio actual *Speedy* de TdP un usuario a través de su modem ADSL por un PVC (ATM) transporta juntos los servicios de datos, voz y video, siendo dicho PVC mapeado en el DSLAM a una inner VLAN (FIGURA 4.6) y a partir de allí para el transporte en el anillo ME (sección 4.2.1.2) las *inner* VLANs son agrupadas hasta un máximo 4096 VLANs *inner* para ser mapeadas a una única outer VLAN/S-VLAN/Q-in-Q and Q /802.1q (FIGURA 4.3).

En la sección 4.2.4 se planteó la propuesta que un usuario del TO en su modem ADSL por un mismo puerto utilice múltiples PVCs para transportar por separado por cada PVC, el servicio de datos, voz o video; siendo mapeado en el DSLAM en modo "*multivlans"*, es decir que cada PVC particular con servicio diferente es mapeado a una *inner* VLAN independiente y de allí estas VLANs son agrupadas según su servicio a la outer VLAN que corresponda (FIGURAS 4.7 y 4.8). A partir de allí, la *outer* VLAN (FIGURA 4.9) es transportada en el anillo ME (SWD y SWC) mediante el mapeado de las *outer* VLANs a VLLs (*Virtual Leased Line*) "*point to point*" del tipo *Epipe* que se describió en la sección 4.2.5, manejando de esa forma la asignación de intercambio de etiquetas en entorno MPLS conforme lo expuesto en la sección 2.2.4.

En esta sección la propuesta de evolución se describe en función a la prospección del transporte de capa 2 en el anillo ME y de los servicios a brindar, planteando la migración y *up-grade* a una arquitectura de VPN L2 "*point to multipoint*" y "*point to multicast*" entre los switches de distribución SWD y los switches de concentración SWC lo que permitirá además de mejorar la VPN L2, el manejo de VRF tipo *lite,* mejores herramientas de gestión y funcionalidades QoS en el nivel de distribución de cara a los DSLAMs.

Bajo este nuevo contexto descrito en el párrafo anterior, para los servicios de datos e Internet a diferencia de la propuesta de la sección 4.2.5, para los anillos de la ME se propone como evolución el uso del VLL tipo *Ipipe* (ver FIGURA 4.27) que agrega capacidades adicionales de *interworking IP* entre las diferentes tecnologías de capa 2 como túneles L2TPv3 (*Layer 2 Tunneling Protocol Version 3*) constituyéndose en una VPN L2 mejorada.

Al agregar *interworking* IP a la capa 2, se da mayor flexibilidad a los servicios de datos e Internet ya que se agrega el beneficio de que la información puede estar presente en varios lugares al mismo tiempo debido a que las VPNs permitirán virtualizar tablas para cada sitio de cliente y compartir la información en forma privada solo entre los clientes que pertenecen a la misma VPN de manera transparente a la conectividad, dando facilidades para que el operador pueda dar servicios de soporte para administrar y mantener los cambios en los circuitos de red.

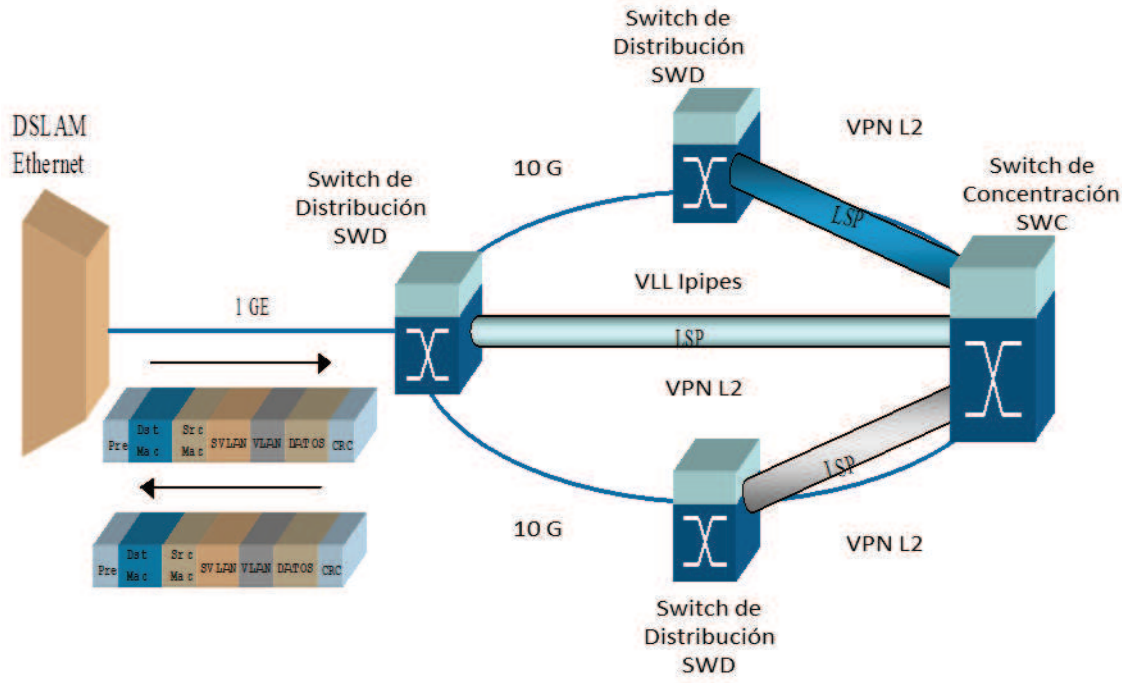


FIGURA 4.27 ARQUITECTURA VLL-VPN 2 PARA SERV. INTERNET Y DATOS
(Fuente: Elaboración propia)

Para el caso específico de los servicios de voz y video, dada la sensibilidad en el *delay* de éstos servicios que deben darse en tiempo real y con el mejor QoS se propone como evolución el uso de VPLS con la finalidad que dichos servicios tengan una VSI exclusiva para sus tráficos (permitiendo mayor escalabilidad que una VRF *lite*), por lo tanto todos

los clientes que tengan el servicio de VoIP deben tener acceso a una VSI de voz tanto en el lado de distribución SWD como en el lado de concentración y lo mismo debe ocurrir para el servicio de video, servicios que deben ser luego mapeados de VSI a VRF a partir del SWC. Para simplificar terminologías en adelante denominarlos en forma general esta evolución como servicios que son mapeados de VPLS a VRF.

En los escenarios donde se maneja específicamente L3 el uso del RSVP para LSP-MPLS es el idóneo, pero en los escenarios donde se maneja exclusivamente L2 es ideal utilizar LDP, para este caso particular LDP-VPLS donde al agregar el túnel LDP se extiende la QoS entre un escenario L3 y un escenario L2 y viceversa. De esta manera la QoS trabaja eficientemente entre las VPN L3 (IP-MPLS) y VPN L2 (Ethernet-VPLS) haciéndose transparente al modo de transporte del elemento de red.

En la propuesta de políticas QoS que se describió en la sección 4.2.10.2, el QoS es configurado a la entrada del SWC en la capa de concentración y desde allí se genera hacia los NB o agregadores de capa 3 los túneles MPLS soportado en el protocolo se señalización RSVP (*Resource Reservation Protocol*) que garantiza el QoS.

Con esta nueva propuesta, en adición a lo anterior, el QoS se extiende hacia el nivel de distribución con el manejo de túneles LDP *(Label Distribution Protocol)* VPLS hacia los SWD a través del anillo de capa 2 de la red ME y a partir de allí se propone manejo de QoS en el acceso ya sea alámbrico o inalámbrico *Wireless*.

“Una red VPLS jerárquica puede ser mapeada a un entorno MPLS y también puede operar sobre una red no MPLS” [15], haciendo factible el manejo de VRFs tipo *lite,* que se configuran sin necesidad de MPLS, si bien la VRF *lite* tiene menos escalabilidad nos permite extender las funcionalidades VRF de cara al DSLAM y a partir de allí, siempre que la evolución del DSLAM IP lo permita poder hacer el mapeo correspondiente para llegar en VRF extremo a extremo hasta el usuario final.

En resumen la VPLS jerárquica permite el establecimiento de caminos LDP en base a los saltos que intercambian etiquetas, enviándose los paquetes de SWC a SWD, en donde el SWC opera como un conmutador de etiquetas *point-to-multipoint* y también *point-to-multicast* usando las funcionalidades VSI (*Virtual Switch Instance)* de SVI (*Switch Virtual Interfaces*). “SVI es una interfaz virtual que actúa como un puerto lógico de un SW de capa 3 configurada para una VLAN específica, que contienen las direcciones MAC

emulando las tablas FIB (*Forwarding Information Base*) de un LSR (*Label Swiching Router*) del ambiente MPLS-VRF de capa 3, con la diferencia que en este caso las tablas FIB contienen direcciones MAC y son llamadas VSI en el entorno VPLS" [14], en la FIGURA 4.28 se muestra la topología de evolución descrita.

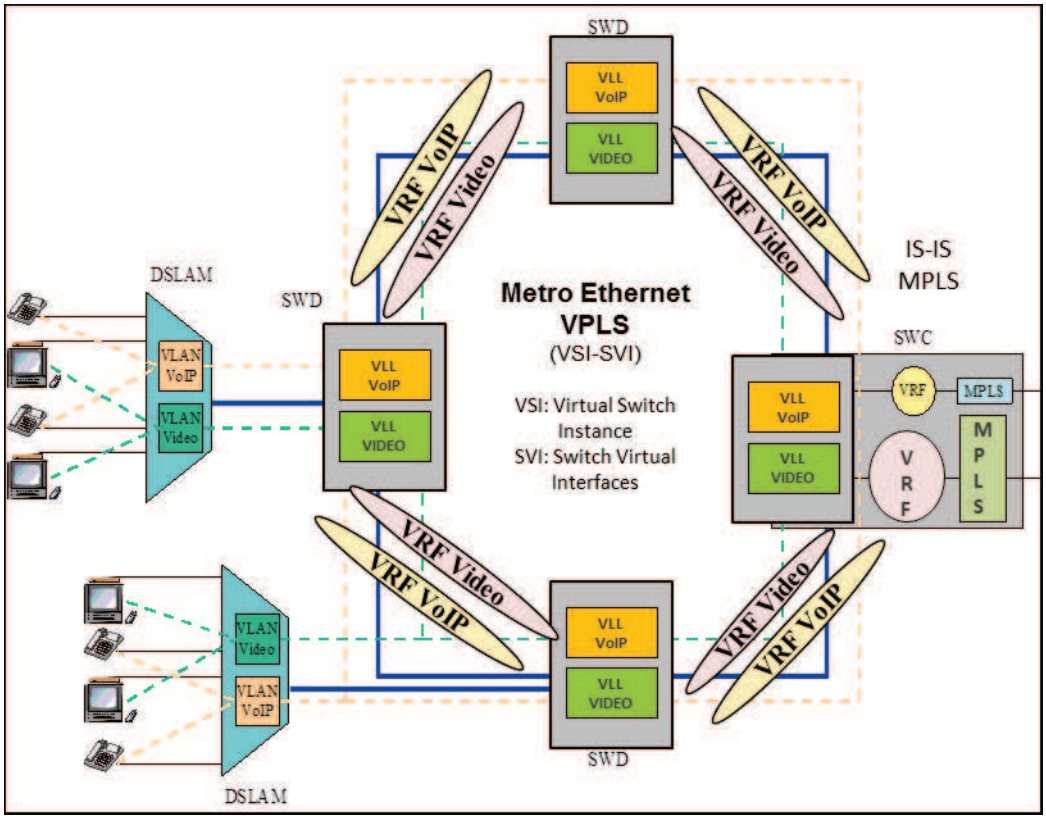


FIGURA 4.28 ARQUITECTURA VPLS-VRF PARA SERVICIOS VoIP Y VIDEO
(Fuente: Elaboración propia)

Cabe comentar respecto a esta sección de evolución de red, que no se ha considerado servicios de LAN to LAN al usuario final dado que el objetivo está orientado al servicio de acceso BA ADSL tipo residencial para zonas en desarrollo o rurales y por lo tanto los servicios para interconexión de redes LANs que se usan para grandes Empresas no aplican para este caso.

CAPITULO V
IMPLEMENTACIÓN DE LA RED, CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO

En adición al diseño de la red mostrada en el capítulo anterior, en la cual se trataron aspectos de investigación y desarrollo teórico a nivel de ingeniería, en el presente capítulo se trata aspectos prácticos con la intención de validar *hardware* y *software,* tanto a nivel físico como lógico, del equipamiento más relevante involucrado en el modelo propuesto, de tal forma de verificar el cumplimiento de las principales funcionalidades consideradas en el diseño e la red.

Estos aspectos de incluyen consideraciones a seguir para la implementación de la red como son configuraciones de los nodos de la red ME, red IP/MPLS, NB y desde el punto de vista del TO, configuraciones y pruebas de conectividad de los equipos terminales del lado el usuario final, así como recomendaciones para su selección.

En el proceso de instalación de cualquier red, no solo se tiene en cuenta los temas de configuración de sus diferentes elementos de red si no también se debe realizar configuraciones para la provisión de la misma, por tanto con el propósito de ilustrar como provisionar la red antes y después de su puesta en servicio también se describen los procedimientos y consideraciones para realizar la pre-provisión y post-provisión.

Por otra parte para la implantación del modelo de acceso de BA propuesto, en el presente capítulo se plantea la caracterización de las localidades, describiéndose las consideraciones para determinar los centros poblados en zonas de desarrollo y seleccionando las localidades que se ajustan a las estrategias planteadas para su atención por TOs.

Finalmente se detalla y describe los requerimientos de infraestructura del TO, se define el acceso de última milla bajo el esquema inalámbrico Wi-Fi y su estimación de costos para su implementación correspondiente por parte del TO, costos de implementación de los servicios de arrendamiento de infraestructura a ser requeridos a TdP para la implantación de la red, detalles de los POPs y una evaluación económica para validar los parámetros de rentabilidad del proyecto.

5.1 Pruebas funcionales de concepto

A fin de validar el modelo propuesto se realizan una prueba de concepto (ToC) para lo cual se diseña la topología de red que se muestra en la FIGURA 5.1. Para tal fin se usa equipamiento de laboratorio de TdP (ver referencias de *brochures* ANEXO L) implantándolos en posibles PoPs utilizando los siguientes equipos de red:

- Terminales ADSL/ROUTERS CPEs Cisco Serie1800.
- DSLAM ethernet Huawei MA560.0. y DSLAM ethernet Alcatel-Lucent ISAM 7300.
- Switch Huawei S8512 (Nodo de Concentración).
- BRAS – ERX 1410 Juniper (Agregador NISIP).
- Router GSR Cisco 12000 (NB/PEng MPLS).

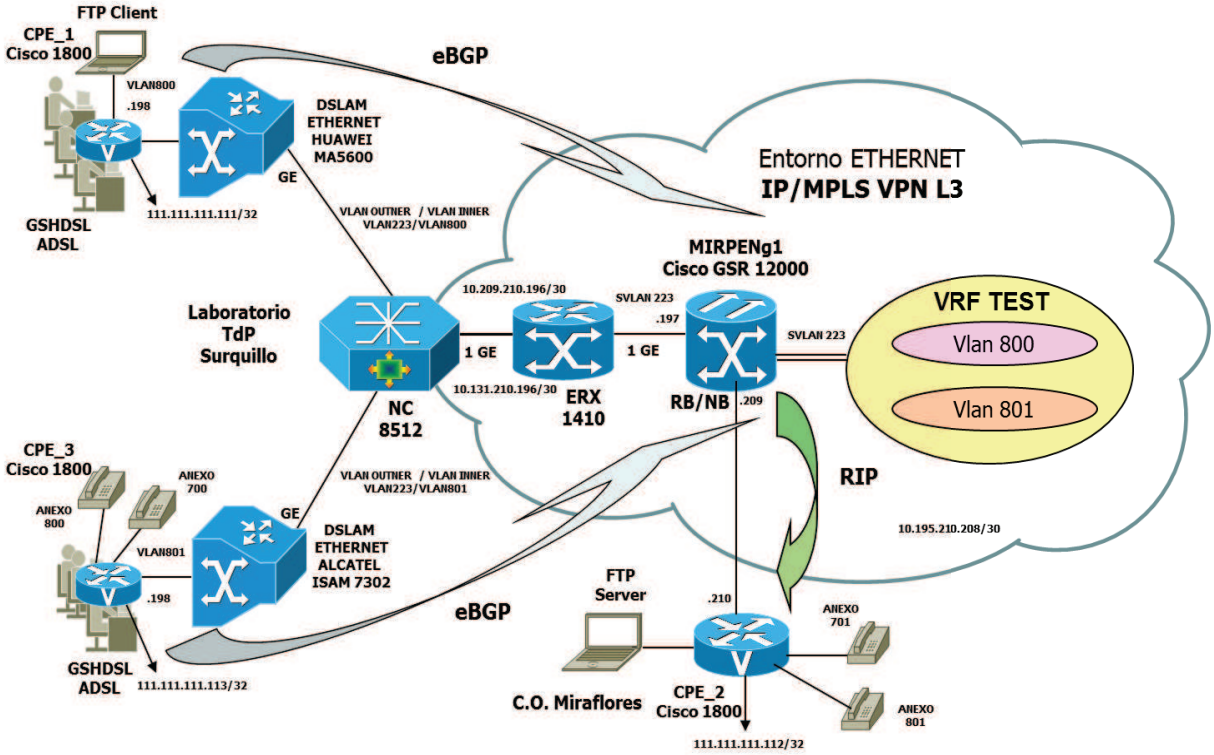


FIGURA 5.1 DIAGRAMA TOPOLÓGICO DE PRUEBAS
(Fuente: Elaboración propia)

Se hace notar que tratándose de una prueba en laboratorio, por temas de recursos logísticos de disponibilidad de equipos se obvia esquemas de jerarquía de red como es el caso que se conecta el DSLAM directamente al SWC el cual se interconecta a un agregador, el mismo que a falta de un SW capa 2/3/4 como NB Huawei se interconecta con un enlace agregado a un RB Cisco, la topología prueba el enlace de respaldo de 1 GE a través del agregador emulando una situación para alta disponibilidad. No se pudo disponer en laboratorio interfaces de 10 G para una interconexión directa del SWC al RB.

No se prueban otras opciones de alta disponibilidad ya que la red de infraestructura de TdP se encuentra redundante con protocolo VRRP (*Virtual Routing Redundancy Protocol*) o HSRP (*Hot Standby Router Protocol*) los cuales ya se encuentran ampliamente probados tanto a nivel de capa 3 como de capa 2. Por lo comentado anteriormente, la topología para prueba de concepto permite probar todos los ítems que se indica en la sección siguiente y funcionalidades de las VRFs que se hace referencia en la alternativa 3 seleccionada en la sección 3.4.5 que es el focus principal de presente estudio.

Respecto a los protocolos se utiliza el eBGP para detectar la interrupción del enlace de última milla, corte de línea o falla del terminal, el cual ante una caída hace que se pierda la vecindad "*neighbor down*" y se detecta en el RB (actuando como NB) el mismo que envía un log al sistema de gestión sobre la incidencia. Para probar tráfico de descarga de datos se interconecta un servidor FTP al RB para lo cual por ser una conectividad directa punto a punto se usa RIP v2, pudiéndose emplear también una ruta estática o iBGP.

5.1.1 Aspectos relevantes a validar

Se definen, prueban y validan los siguientes conceptos:

- Operatividad de los terminales CPEs (*Customer Premises Equipment*) para clientes ADSL hacia el DSLAM ethernet (ADSL/G.SHDSL) y de DSLAMs ethernet (Huawei y Alcatel/Lucent) switch ethernet para el soporte del S-VLAN/ Q-in-Q.
- Operatividad de los BRAS/NISIP y NB (GSR 12000) para el servicio BA ADSL.
- Verificar la QoS para tráficos de voz y datos (FTP, ICMP, telnet, HTTP).
- Verificar la conectividad *end-to-end* y definir las plantillas de pruebas para configuraciones de los CPEs, DSLAMs, BRAS, SW ethernet, RB (PENg1) para los servicios de acceso BA propuestos ADSL- ME - red IP/MPLS - VRF.

5.1.2 Configuración del PEng DSLAM ethernet

MIRAFLORES PENG1

```
interface GigabitEthernet2/0/0.25800[27]
 description  CPE_1_MIRAFLORES
 encapsulation dot1Q 25 second-dot1q 800
```

[27] Se configura el puerto de acceso hacia el Dslam ethernet MA 5600 de Huawei, se define la sub interfaz lógica 25800 y se utiliza el comando *encapsulation dot1Q* para hacer el enrutamiento *intervlan* y el número 223 y 800 son los número de las vlan a la cual las vamos a encapsular, *para* asociar una interfaz a la vrf en esta caso TEST *se usa ip vrf forwarding TEST,* para evitar que se genere un alto tráfico en la red y una carga en los *hosts* por ataques de denegación de servicio se usa en la configuración *"no ip directed-broadcast".*

```
 ip vrf forwarding TEST
 ip address 10.209.210.196 255.255.255.252
 no ip directed-broadcast

router bgp 6147
 address-family ipv4 vrf TEST
 redistribute rip metric 200
 neighbor MIRGIGA_PEER peer-group
 neighbor MIRGIGA_PEER remote-as 64600
 neighbor MIRGIGA_PEER activate
 neighbor MIRGIGA_PEER remove-private-as
 neighbor MIRGIGA_PEER as-override
 neighbor MIRGIGA_PEER soft-reconfiguration inbound
 neighbor 10.209.210.197 peer-group MIRGIGA_PEER
 no synchronization
 table-map MIPO
 exit-address-family [28]
```

5.1.3 Configuración de la red Metro Ethernet

LABORATORIO TDP SURQUILLO (SW CONCENTRADOR 8512)

Puerta de acceso del DSLAM hacia el switch de distribución: Huawei S8512

```
interface GigabitEthernet10/1/13
 stp disable
 description Conexion DSLAM Alcatel LABO-13
 speed 1000
 duplex full
 port link-type trunk
 undo port trunk permit vlan 1
 port trunk permit vlan 25 1010 to 1012 2000
 broadcast-suppression 1
! [29]
```

Puerta de acceso del switch de distribución: Huawei S8512 hacia el NB (PENG)

```
interface GigabitEthernet11/1/22
 stp disable
 description Conexion PENg Miraflores Ge1/1/0
 speed 1000
```

---

[28] Se configura de manera global el router virtual con protocolo bgp en un sistema autónomo en esta caso AS=6147, en familia ipv4 para la vrf TEST utilizando protocolo RIP se redistribuye con métrica 200 hacia la vrf y luego se configura las redes vecinas pares *peer* para el grupo MIR_PRUEBA_TO_PEER, se deshabilita la sincronización mediante el comando *"no synchronization*" por no requerirse un protocolo de enrutamiento interno debido a que el bgp ya que por defecto publica las redes que se corresponden con una ruta interna presente en la tabla MIPO de enrutamiento del router virtual configurada con el comando *"table-map".*

[29] Se configura de manera global el router virtual con protocolo bgp en un sistema autónomo en esta caso AS=6147, en familia ipv4 para la vrf TEST utilizando protocolo RIP se redistribuye con métrica 200 hacia la vrf y luego se configura las redes vecinas pares *peer* para el grupo MIR_PRUEBA_TO_PEER, se deshabilita la sincronización mediante el comando *no synchronization* por no requerirse un protocolo de enrutamiento interno debido a que el bgp ya que por defecto publica las redes que se corresponden con una ruta interna presente en la tabla MIPO de enrutamiento del router virtual configurada con el comando *table-map.*

```
 duplex full
 port link-type trunk
 undo port trunk permit vlan 1
 port trunk permit vlan 25
 broadcast-suppression 1
!
```
[30]

5.1.4 Configuración del CPE DSLAM Ethernet

```
hostname CPE1_ADSL
enable password cisco
 class-map match-all DATA
 match access-group 101
 class-map match-all VOZ
 match access-group 100
policy-map IPVPN
 class VOZ
 priority 32
 class DATA
 bandwidth 160

interface Ethernet0
 ip address 192.168.98.1 255.255.255.0
 ip nat inside
 ip virtual-reassembly
 ip route-cache policy
 ip policy route-map DATOS
 no cdp enable
 hold-queue 100 out
interface ATM0
 no ip address
 no atm ilmi-keepalive
 bundle-enable
 dsl operating-mode auto
interface ATM0.1 point-to-point
 ip address 10.151.192.98 255.255.255.252
 atm route-bridged ip
 mac-address
 pvc 8/60
 protocol ip 10.16.0.1 broadcast
 tx-ring-limit 3
 oam-pvc manage 5
 oam retry 3 3 5
 vbr-nrt 256 256
 encapsulation aal5snap
 service-policy output IPVPN
!
```
[31]
```
router bgp 64600
 no synchronization
 bgp log-neighbor-changes
```

---

[30] Igualmente para las interfaces restantes se configura en forma similar a la anterior.

[31] Se configura el equipo terminal lado cliente, el modo de interface utilizado es en ATM a fin de permitir la utilización de PVCs para definir tipo de servicio *vbr*, políticas de servicio, encapsulación *aal5* y manejar funcionalidades OAM (protocolo para facilitar la Operación, Administración y Mantenimiento) del circuito virtual de acceso.

```
 network 111.111.111.111 mask 255.255.255.255
 network 192.168.98.0
 neighbor 10.209.210.197 remote-as 6147
 neighbor 10.209.210.197 route-map ROUTES_EBGP out
 no auto-summary
!
 access-list 100 permit tcp any any eq 1720
 access-list 100 permit tcp any eq 1720 any
 access-list 100 permit udp any any range 16384 32768
 access-list 100 permit udp any range 16384 32768 any
 access-list 101 permit tcp any any eq telnet
 access-list access-list 101 permit tcp any eq telnet any

102 permit tcp any any eq ftp-data
 access-list 102 permit tcp any eq ftp-data any
 access-list 102 permit tcp any any eq ftp
 access-list 102 permit tcp any eq ftp any
 access-list 103 permit icmp any any echo
 access-list 103 permit icmp any any echo-reply
!
 ip prefix-list ROUTES_PEER_EBGP seq 5 permit 111.111.111.111/32
 ip prefix-list ROUTES_PEER_EBGP seq 10 permit 192.168.98.0/24
!
route-map DATOS permit 10
 match ip address 100
 set ip precedence critical
route-map DATOS permit 20
 match ip address 101
 set ip precedence inmediate
route-map DATOS permit 30
 match ip address 102
 set ip precedence priority
route-map DATOS permit 40
 match ip address 103
 set ip precedence routine
!
route-map ROUTES_EBGP permit 10
 match ip address prefix-list ROUTES_PEER_EBGP
dial-peer voice 1 pots
 port-voice 0/0
 destination-pattern 800
dial-peer voice 2 pots
 port-voice 0/0
 destination-pattern 801
dial-peer voice 3 voip
 destination-pattern 8000
 session target ipv4:10.151.192.206
 codec g729a
 ip qos dscp cs5 media
 ip qos dscp cs5 signaling
dial-peer voice 4 voip
 destination-pattern 8001
 session target ipv4:10.151.192.206
 codec g729a
 ip qos dscp cs5 media

 ip qos dscp cs5 signaling
```

! [32]

5.1.5 Resultados de las pruebas de conectividad ADSL

CPE1 DE LABORATORIO SURQUILLO

LABORATORIO_CPE1#ping 111.111.111.112
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 111.111.111.112, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/31/36 ms
LABORATORIO_CPE1#ping 111.111.111.113
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 111.111.111.113, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 36/41/52 ms

OFICINA CENTRAL MIRAFLORES

CO_MIRAFLORES#ping 111.111.111.111
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 111.111.111.111, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/32/40 ms
CO_ MIRAFLORES #ping 111.111.111.112
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 111.111.111.112, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 48/56/72 ms
!!!!!

CPE3 LABORATORIO SURQUILLO

LABORATORIO_CPE3#ping 111.111.111.112
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 111.111.111.112, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/31/36 ms
LABORATORIO_CPE3 #ping 111.111.111.111
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 111.111.111.111, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 36/41/52 ms
!!!!! [33]

5.1.6 Resultados de pruebas ADSL QoS – VoIP/datos

OFICINA CENTRAL MIRAFLORES

---

[32] Adicionalmente el equipo terminal lado cliente se configura con protocolo routing bgp y se definen las redes, se agrega *ebgp* para garantizar el envío de señalización para la detección inmediata de cortes en los enlaces, se generan las listas de acceso para permitir los tipos de tráfico y servicios como *ftp, http, tcp, utp, icmp, telnet, voip* y finalmente se configura el QoS en modo *"Differentiated Services Code Point"* donde sus tres *bits* más significativos corresponden a un mecanismo IP *Precedent "Class Selector"* equivalente a 5 para clasificar y mapear el tráfico.

[33] Se observa para todos los casos de conectividad entre la oficina central y los terminales que existe conectividad con un mínimo *delay*.

CO_MIRAFLORES#show policy-map interface
ATM0/1/0.1: VC 8/60 -
Service-policy output: IPVPN
Class-map: VOZ (match-all)
32113 packets, 3081986 bytes
5 minute offered rate 0 bps, drop rate 0 bps
Match: access-group 100
Queueing
Strict Priority
Output Queue: Conversation 40
Bandwidth 32 (kbps) Burst 800 (Bytes)
(pkts matched/bytes matched) 1073/165177
(total drops/bytes drops) 0/0
Class-map: DATA (match-all)
8453 packets, 955081 bytes
5 minute offered rate 2000 bps, drop rate 0 bps
Match: access-group 101
Queueing
Output Queue: Conversation 41
Bandwidth 160 (kbps) Max Threshold 64 (packets)
(pkts matched/bytes matched) 8454/955709
(depth/total drops/no-buffer drops) 0/0/0
Class-map: class-default (match-any)
30048 packets, 10623889 bytes
5 minute offered rate 0 bps, drop rate 0 bps
Match: any
! [34]

5.1.7 Consideraciones para los terminales CPE

- Con el fin de asegurar un óptimo SLA en la red y mejorar la QoE (sección 4.3.2) y que se garantice el envío de señalización para la detección inmediata de cortes en los enlaces se requiere el soporte de routing eBGP para los módems/routers ADSL a ser propuestos para su uso por los TOs.
- Se validó que los equipos CPE Cisco 800/1800 cumplen con este requerimiento, equipos similares existen en marca 3-Com que son los modem router 5000 y 6000 *family* y los módem - router AR18 y AR28 Series en marca Quidway de Huawei.
- De la prospección de módems realizada se verificó que el modem Thomson de Alcatel-Lucent ST620s soporta la funcionalidad de BGPv4, por lo que con este CPE también se puede implementar el eBGP como medida de seguridad para la detección rápida de fallas en la red.
- Dado que los requerimientos BGP aumentan los precios de los CPEs, de no adquirir CPEs con funciones BGP, se debe tener en cuenta que en el despliegue

[34] Se observa para la calidad de servicio configurada que no existe pérdida de paquetes con un rango de descarte de 0 bits por segundo.

del servicio de BA con CPEs sin elementos de diagnóstico, implica una operación con detección en tiempo “diferido” de los cortes en los enlaces de acceso.

- Se debe tener presente que si no se tiene en la red los requerimientos recomendados de OAM ethernet ni el *peering* BGP entre los módems o routers terminales, la situación se puede traducir en una demora de atención al cliente en lo referente al mantenimiento operativo.

5.1.8 Configuración en la red para los CPEs

El enlace entre el SWC y SWD debe estar configurado con:

- 802.1p/q y políticas de QoS (sección 4.2.10).
- VLAN de gestión y VLANs de clientes atendidos por conmutador terminal.

Las puertas del conmutador terminal conectadas a los CPEs con capacidad de gestión remota deberán soportar, además las siguientes funcionalidades:

- Asignación PHB (*Per Hop Behavior*) de acuerdo con las políticas de QoS.
- Control de ancho de banda y Q-in-Q (Norma IEEE 802.1QinQ - *Stacked VLANs*).
  - Seguridad y límite de direcciones MAC y control de tráfico *broadcast*.
  - Tunelización de protocolos L2 (p.e.: BPDUs - *Bridge Protocol Data Units*).
- Configuración del TC (*Traffic Conditioner)* de acuerdo a las políticas de QoS.
  - Configuración de la máxima velocidad contratada - *burst* máximo permitido (CIR, CBS, EIR, EBS) definidos en la sección 2.2.3.
  - Marcar con CoS el tráfico conformado y el excedente permitido (ver sección 4.2.10) y descartar el tráfico excedente no permitido.
- Los elementos de red deben confiar en la marcación realizada por el CPE.

5.1.9 Conclusiones de las pruebas de concepto

- Se valida la interoperabilidad acceso ADSL – DSLAM IP con la red IP/MPLS (TdP).
- Es factible pasar tráfico de voz y datos (HTTP, FTP, TCP, UDP), garantizado extremo a extremo los protocolos con el soporte de CoS (802.1p) y QoS que aseguren las aplicaciones que cursen por el acceso ADSL.
- Se requiere el soporte de routing eBGP para los módems/routers ADSL que atenderán a los clientes empresariales.
- Se identifican los equipos que cumplen con el protocolo indicado eBGP que son los ISR de Cisco 1800/2800/3800 hacia delante (sección 5.1.7).
- Se requiere el soporte de la funcionalidad de E-OAM en los RB (NB). Los PENg (*Provider Edge Next generation*) de Cisco no soportan esta funcionalidad.

- El CPE debe ser gestionado hasta el usuario con soporte de RBE (*Routed Bridged Encapsulation*) y eBGP (*external Border Gateway Protocol*).
- Siendo la gestión un componente principal del servicio para monitorear el SLA, se debe tener en cuenta la posibilidad de implementar equipos que soporten los requerimientos eBPG.

5.2 Provisión de la red y servicios

Los equipos de la red Metro Ethernet de TdP deben ser instalados con una pre-configuración básica, que contemplará los VPI/VCI de todos los puertos en los DSLAMs los cuales serán asociados a los valores de VLAN/S-VLAN para el servicio de acceso BA.

Los puertos troncales de los conmutadores de distribución conectados al anillo deben ser definidos y configurados considerando las S-VLANs asociadas de acuerdo a un plan de numeración VLANs definido.

Similarmente los conmutadores de concentración deben ser instalados en la planta con una pre-configuración básica, que contemple una conexión en S-VLAN al agregador y una conexión IP con el núcleo IP, en la TABLA 5.1 se ilustra como referencia parte del plan de numeración de VLANs de la Metro Ethernet (nodo Cajamarca) que debe ser complementado con TdP para este servicio de acceso a TOs, de forma similar existe un plan para todos los departamentos del país.

Debido a las limitaciones del número de VLANs un clúster soporta hasta 4000 VLANs ID, por lo que las VLAN ID deben ser distribuidas entre todos los servicios que corran en los anillos, entonces los criterios de configuración y numeración de VLANs deberán ser los mismos para todos los *clusters.*

5.2.1 Pre-provisión del servicio

Para la pre-provisión se requiere realizar actividades en los sistemas de gestión comercial que involucran los ítems que se indican líneas abajo.

- Consultar la *outer* VLAN y la *inner* VLAN pre-configurada en el equipo.
- Consultar sobre la asociación entre las interfaces de los elementos de red.
- Configurar dicha asociación, para que se establezca la conexión dedicada a un servicio mayorista, lo cual implica configurar la nueva relación entre puerto de abonado - *outer* VLAN - *inner* VLAN.

Item	DSLAM	Telefónica						Mayorista		
		Inner VLAN			Outer VLAN			Outer VLAN		
		Rango VLANs			Rango VLANs			Rango VLANs		
		Frame 1	Frame 2	Frame 3	Frame 1	Frame 2	Frame 3	Frame 1	Frame 2	Frame 3
1	Cajamarca 1									
2	Cajamarca 2									
3	Cajamarca 3									
4	Cajamarca 4	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,001	1,002	1,003	11	12	13
5	Cajamarca 5	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,004	1,005	1,006	14	15	16
6	Cajamarca 6	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,007	1,008	1,009	17	18	19
7	Cajamarca 7	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,010	1,011	1,012	20	21	22
8	Cajamarca 8	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,013	1,014	1,015	23	24	25
9	Cajamarca 9	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,016	1,017	1,018	26	27	28
10	Cajamarca 10	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,019	1,020	1,021	29	30	31
11	Cajamarca 11	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,022	1,023	1,024	32	33	34
12	Bambamarca 1									
13	Bambamarca 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,025	1,026	1,027	35	36	37
14	Bambamarca 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,028	1,029	1,030	38	39	40
15	Baños del Inca 1									
16	Baños del Inca 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,031	1,032	1,033	41	42	43
17	Baños del Inca 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,034	1,035	1,036	44	45	46
18	Cajabamba 1									
19	Cajabamba 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,037	1,038	1,039	47	48	49
20	Cajabamba 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,040	1,041	1,042	50	51	52
21	Celendin 1									
22	Celendin 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,043	1,044	1,045	53	54	55
23	Celendin 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,046	1,047	1,048	56	57	58
24	Chilete 1									
25	Chilete 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,049	1,050	1,051	59	60	61
26	Chilete 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,052	1,053	1,054	62	63	64
27	Chota 1									
28	Chota 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,055	1,056	1,057	65	66	67
29	Chota 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,058	1,059	1,060	68	69	70
30	Cutervo 1	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,061	1,062	1,063	71	72	73
31	Cutervo 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,064	1,065	1,066	74	75	76
32	Cutervo 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,067	1,068	1,069	77	78	79
33	Huacapampa 1	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,070	1,071	1,072	80	81	82
34	Huacapampa 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,073	1,074	1,075	83	84	85
35	Huacapampa 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,076	1,077	1,078	86	87	88
36	Magdalena 1 - Cajamarca									
37	Magdalena 2 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,079	1,080	1,081	89	90	91
38	Magdalena 3 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,082	1,083	1,084	92	93	94
39	San Juan 1 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,085	1,086	1,087	95	96	97
40	San Juan 2 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,088	1,089	1,090	98	99	100
41	San Juan 3 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,091	1,092	1,093	101	102	103
42	San Marcos 1									
43	San Marcos 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,094	1,095	1,096	104	105	106
44	San Marcos 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,097	1,098	1,099	107	108	109
45	San Miguel 1 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,100	1,101	1,102	110	111	112
46	San Miguel 2 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,103	1,104	1,105	113	114	115
47	San Miguel 3 - Cajamarca	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,106	1,107	1,108	116	117	118
48	San Pablo 1									
49	San Pablo 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,109	1,110	1,111	119	120	121
50	San Pablo 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,112	1,113	1,114	122	123	124
51	Sta Cruz de Succhubamba 1									
52	Sta Cruz de Succhubamba	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,115	1,116	1,117	125	126	127
53	Sta Cruz de Succhubamba	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,118	1,119	1,120	128	129	130
54	Tembladera 1	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,121	1,122	1,123	131	132	133
55	Tembladera 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,124	1,125	1,126	134	135	136
56	Tembladera 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,127	1,128	1,129	137	138	139
57	Jaen 1									
58	Jaen 2									
59	Jaen 3									
60	Jaen 4	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,130	1,131	1,132	140	141	142
61	Jaen 5	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,133	1,134	1,135	143	144	145
62	Bagua Chica 1									
63	Bagua Chica 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,136	1,137	1,138	146	147	148
64	Bagua Chica 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,139	1,140	1,141	149	150	151
65	Bagua Grande 1									
66	Bagua Grande 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,142	1,143	1,144	152	153	154
67	Bagua Grande 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,145	1,146	1,147	155	156	157
68	Chachapoyas 1									

TABLA 5.1 PLAN DE NUMERACIÓN DE VLANS – METRO ETHERNET
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

En la TABLA 5.2 y FIGURA 5.2 se resume estas consideraciones y se muestra el flujo del proceso de pre-provisión.

N	Proceso de provisión GigadsI IPVPN
1	La orden ingresa al Gestel por el comercial
2	Asignaciones le asigna facilidades.
3	En el MDF se ejecuta el cableado respectivo y se liquida en el Gestel
4	En Centro de gestion , se emite las ordenes por Gestel , Altas, Bajas, Desprogramaciones , Se procede , a correr las macros a los archivos que son bajados del Gestel
5	Se ejecuta las ordenes , a traves del SIR , configurando en el DSLAM ; NB, PE, con la velocidad Si la programacion es exitosa según reporte del SIR de liquida en el GESTEL , en forma manual Si la programacion no es existosa , se verifica que los datos esten correctos de existir algun problema se observa la orden , para el tratamiento comercial , por ejemplo : se asigno una cebecera de huawei o ethernet ,o otros. Si la programacion no es existosa, y se verifica que los datos estan correctos y el problema esta en la red, ejemplo: la troncal esta caida . Se reporta a la Red, para la solucion respectiva .
6	Luego que se consige una programacion existosa se pasa a liquidar en el Gestel . Si la liquidacion en el Gestel es existosa , pasa a la estacion de instalaciones de CCEE datos . Si la liquidacion no es existosa , se reporta al help desk de Informatica para la solucion del problema .
7	Una vez que la orden pasa a Instalaciones, cuando hay problemas en el lado cliente (no levanta el protocolo , u otros) se llama al CG, donde le da soporte al instalador
8	Luego el grupo de Instalaciones , liquida en el Gestel y en el coopera , cuando termina la instalacion .

TABLA 5.2 PROCESO DE PRE-PROVISIÓN MANUAL DEL SERVICIO
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

Cabe mencionar que los servidores informáticos de TdP: Gestel, SirADSL y Centro de Gestión (CG) actualmente brindan soporte para su servicio *Speedy* residencial, por lo que requieren mínimas adecuaciones para dar soporte al servicio propuesto de acceso BA para TOs.

Similarmente se implementará procedimientos para la baja de servicio, cambios de velocidad, corte/reconexión y averías. En el sistema Gestel se solicita la baja del servicio para el cliente del TO. Esta información viaja al sistema SirADSL que actúa como sistema de provisión de TdP y continuará el proceso de baja establecido.

En la FIGURA 5.3 se muestra un ejemplo para la provisión del alta de servicio de un cliente de un TO en los sistemas informáticos comerciales de TdP.

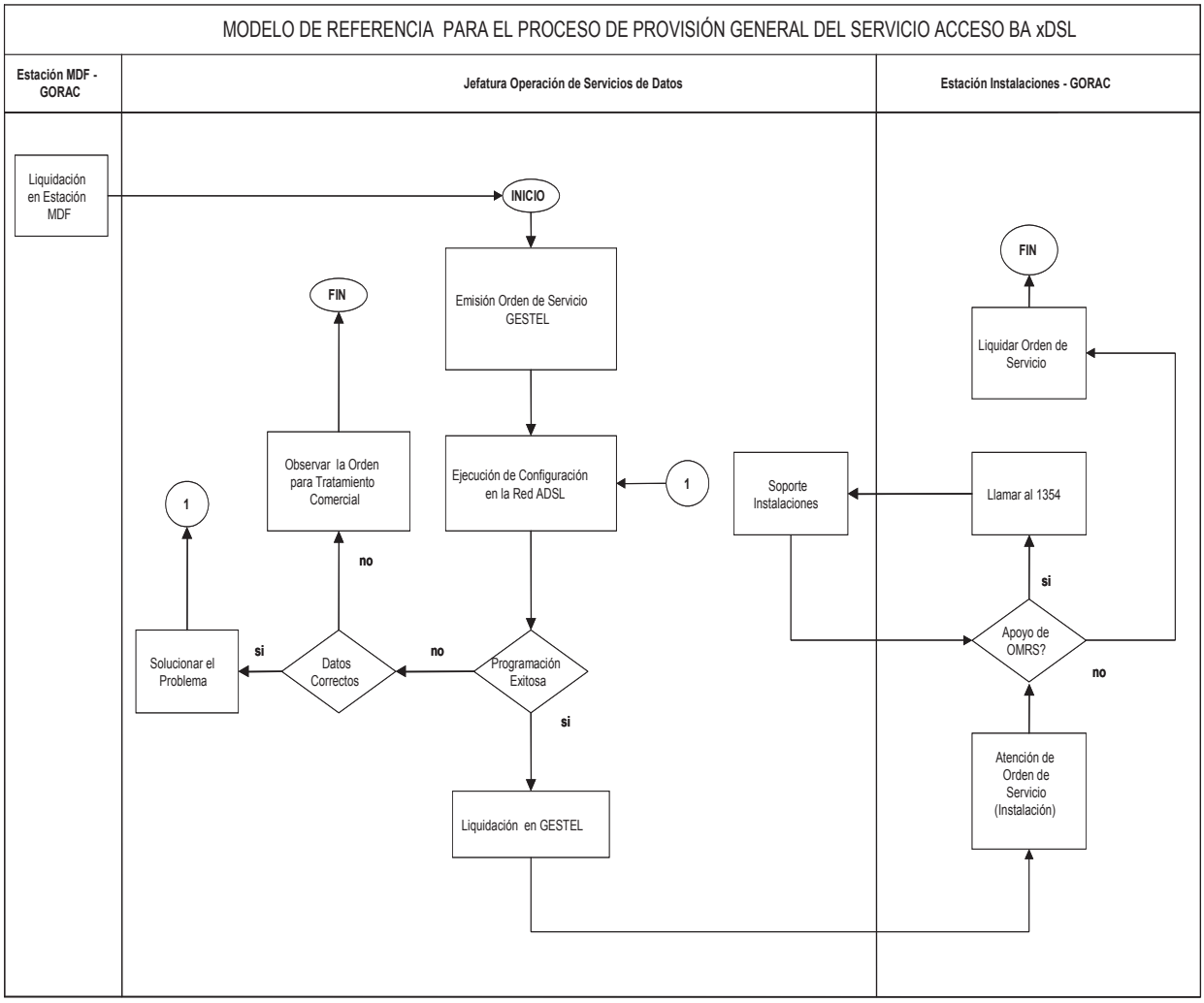


FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE FLUJO PRE-PROVISIÓN DEL SERVICIO
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

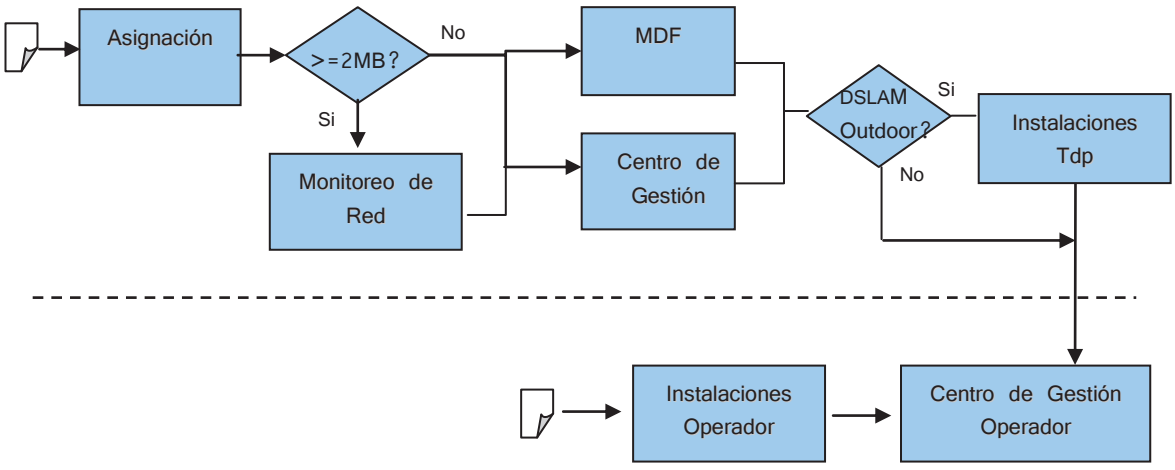


FIGURA 5.3 PROVISIÓN ALTA DE SERVICIO
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

Para el corte y reconexión por deuda se carga manualmente los archivos Excel en proceso *batch*, y se ejecuta las órdenes de corte y reconexión tal como se encuentra especificado actualmente para su servicio *Speedy*. TdP viene adecuando su nuevo sistema ATIS (*Advanced Telecommunication Integrated System*) para integrar sus procesos de facturación, atención al cliente, cobros e infraestructura de negocios.

5.2.2 Post-provisión del servicio

Este aspecto posterior a la puesta en servicio de la red, se centra básicamente en describir los procedimientos a seguir para el tratamiento de averías. Para el caso de averías por causas de TdP, el TO debe contar con una segmentación de empresas, a fin de que frente a cualquier avería el TO pueda llamar al *Call Center* de ATENTO (p.e.: 080016600) de TdP. El *pull* de atención solicitará los siguientes datos del TO:

- Contactos en el punto de entrega del servicio (de manera escalonada).
- Números de los contactos (celulares y teléfonos fijos dados de alta) de las personas que estarán en el punto de entrega del servicio y atenderán a los técnicos de TdP (en caso se necesite una visita técnica).
- Número telefónico asociado al servicio para TOs, etc.

Para la realización del pre-diagnóstico, es necesario que exista una "ventanilla única" para atención especial de O&M de TOs, siendo así esta información es alcanzada a dicha ventanilla de TdP quienes analizaran el problema y lo identifican dándole solución de acuerdo a los SLAs por la segmentación a la que pertenece el TO en los sistemas:

- Pruebas CG TO y liquidación notificando al operador si el problema se encuentra o no en lado TdP.
- En caso de ser problema de TdP (red Ethernet/IP-MPLS, planta externa, enlace o circuito arrendado), TdP coordinará con sus áreas técnicas correspondientes la solución del problema.

5.3 Caracterización y selección de localidades

El objetivo central del presente sección es caracterizar las localidades para seleccionar los centro poblados para la aplicación del modelo de acceso de BA en áreas rurales buscando dar un paso más allá de la simple identificación de existencia de "facilidades técnicas" posibilitando así un mejor delineamiento de estrategia de desarrollo de las telecomunicaciones en las áreas menos favorecidas del país con las consiguientes externalidades que estos servicios generan en materia de desarrollo regional.

5.3.1 Caracterización de localidades

El modelo de solución para accesos a servicios IP en BA esta específicamente orientado para atención de localidades en zonas en desarrollo a través de TOs, lo cual incluye áreas rurales, siendo así y considerando que en el caso rural peruano, donde la geografía es sumamente adversa y las redes familiares dinamizan la actividad económica, la difusión de los servicios de telecomunicación resulta ser necesaria para el logro de un proceso de integración y desarrollo regional.

El reconocimiento de los beneficios derivados de los servicios de telecomunicación y la necesidad de distribuir estos beneficios en la población rural, es un objetivo de política de nuestro país, es así que se comienza a hablar de un "acceso universal" a los servicios básicos de telecomunicación como un paso previo al ideal de servicio universal.

En ese marco de desarrollo rural el estado cuenta con un programa de proyectos de alto contenido social como es en el sector salud MINSA (Ministerio de Salud) para llegar a desarrollar las zonas más alejadas del país; siendo bajo este concepto que se ha considerado para el presente estudio, la caracterización de localidades para implantación del modelo propuesto, tomando como referencia zonas rurales o centros poblados con problemas de asistencia médica y comunicación para acceso a Internet, con la idea de brindar servicios a distancia de telemedicina ante la ausencia de profesionales médicos.

5.3.2 Selección de localidades

Por lo indicado en los criterios de caracterización mencionados en la sección anterior, se toma como objetivo localidades que requieren satisfacer sus necesidades críticas asistenciales de salud, tomadas de la base datos provenientes del MINSA.

Se seleccionan 34 localidades de una información de 7,179 localidades donde el MINSA (Ministerio de Salud) tiene centros asistenciales de salud, las mismas que reúnen las siguientes características:

- Tipo: Puesto de Salud.
- Nivel de Complejidad: 1.
- Categoría: Puesto de Salud sin médico permanente.
- Clasificación: Rural.

Un punto importante para la selección es la disponibilidad de medios de trasmisión, URDs, DSLAMs y demanda, en la TABLA 5.3 se muestran las localidades seleccionadas, donde el nivel de complejidad del sector Salud se define según la siguiente clasificación:

- Nivel 1: Puesto de Salud sin médico permanente.
- Nivel 2: Puesto de Salud con médico.
- Nivel 3: Centro de Salud sin internamiento.
- Nivel 4: Centro de Salud con internamiento.

Nro	NOMBRE	DPTO	PROV	DIST	CCPP
1	COYLLUR	ANCASH	HUARAZ	HUARAZ	COCHAP
2	ATIPAYAN	ANCASH	HUARAZ	INDEPENDENCIA	ESLABON
3	PARIACACA	ANCASH	CARHUAZ	CARHUAZ	PARIACACA
4	MAYA	ANCASH	CARHUAZ	CARHUAZ	MAYA
5	RAMPAC GRANDE	ANCASH	CARHUAZ	CARHUAZ	RANPAC GRANDE
6	YURACOTO	ANCASH	HUAYLAS	CARAZ	YURACOTO
7	PAVAS	ANCASH	HUAYLAS	CARAZ	PAVAS (IQUIN PAHUAS)
8	HUASHAO	ANCASH	YUNGAY	YUNGAY	COPTAC
9	CHULIT	CAJAMARCA	CHOTA	CHOTA	CHULIT
10	TUNEL CONCHANO	CAJAMARCA	CHOTA	CHOTA	CONGA BLANCA
11	LLALLAN	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CHILETE	EL COCO
12	SAN JUAN DE LA CAMACA.	CAJAMARCA	HUALGAYOC	BAMBAMARCA	SAN JUAN DE LA CAMACA
13	SAN ANTONIO ALTO	CAJAMARCA	HUALGAYOC	BAMBAMARCA	SAN ANTONIO ALTO
14	APAN BAJO	CAJAMARCA	HUALGAYOC	BAMBAMARCA	APAN BAJO
15	SAN ANTONIO	CAJAMARCA	SAN IGNACIO	SAN IGNACIO	SAN ANTONIO DE LA BALSA
16	HUAYOBAMBA	CAJAMARCA	SAN MARCOS	PEDRO GALVEZ	HUAYOBAMBA
17	NITISUYO ALTO	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	NITISUYO ALTO
18	EL PATIñO	CAJAMARCA	SAN PABLO	SAN PABLO	EL PALTO
19	RAMIRO PRIALE	JUNIN	HUANCAYO	EL TAMBO	CULLPA BAJA
20	CULLPA	JUNIN	HUANCAYO	EL TAMBO	CULLPA BAJA
21	HUARI	JUNIN	HUANCAYO	HUANCAN	HUARI
22	COILLOR	JUNIN	HUANCAYO	SAN AGUSTIN	COYLLOR GRANDE
23	MILUCHACA	JUNIN	HUANCAYO	SAPALLANGA	MILUCHACA
24	MIRAFLORES	JUNIN	HUANCAYO	SAPALLANGA	MIRAFLORES
25	COCHARCAS	JUNIN	HUANCAYO	SAPALLANGA	COCHARCAS
26	MARAVILCA	JUNIN	CONCEPCION	MATAHUASI	MARAVILCA
27	HUANCAS	JUNIN	JAUJA	YAUYOS	CUÐAS
28	TINYARI CHICO	JUNIN	CHUPACA	SAN JUAN DE ISCOS	TINYARI CHICO
29	POMAPE	LAMBAYEQUE	CHICLAYO	MONSEFU	POMAPE
30	VALLE HERMOSO	LAMBAYEQUE	CHICLAYO	MONSEFU	VALLE HERMOSO
31	COLLIQUE	LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	CORRAL DE PALOS
32	MARAVILLAS	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	MOCHUMI	MARAVILLAS
33	LOS SANCHEZ	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	TUCUME	SANCHEZ
34	LA RAYA	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	TUCUME	LA RAYA

TABLA 5.3 LOCALIDADES CARACTERIZADAS PROPUESTAS
(Fuente: Elaboración propia)

El perfil para la implementación comprende la atención de 34 localidades cabeceras, con inversiones incrementales que se justifican económicamente ya que se ha tenido en cuenta la existencia de facilidades técnicas (medios de transmisión, URDs y DSLAMs) a las que se pueden interconectar las localidades seleccionadas con una baja inversión.

El criterio clave para reducir costos y contar con facilidades técnicas que minimizan la inversión, es agrupar las localidades seleccionadas en dos PoPs dentro del ámbito administrativo regional de TdP, uno en la ciudad de Trujillo para concentrar 16 localidades de la región norte y el otro en Lima para concentrar 18 localidades de la región centro, en la TABLA 5.4 se muestra la zonificación desarrollada para el despliegue de la red propuesta.

Nro	NOMBRE	CCPP	URD TdP	DSLAM	REGION	ZONA ADM
1	COYLLUR	COCHAP	HUARAZ	SI	CENTRO	LIMA
2	ATIPAYAN	ESLABON	HUARAZ	SI	CENTRO	LIMA
3	PARIACACA	PARIACACA	CARHUAZ	SI	CENTRO	LIMA
4	MAYA	MAYA	CARHUAZ	SI	CENTRO	LIMA
5	RAMPAC GRANDE	RANPAC GRANDE	CARHUAZ	SI	CENTRO	LIMA
6	YURACOTO	YURACOTO	CARAZ	SI	CENTRO	LIMA
7	PAVAS	PAVAS (IQUIN PAHUAS)	CARAZ	SI	CENTRO	LIMA
8	HUASHAO	COPTAC	YUNGAY	SI	CENTRO	LIMA
9	CHULIT	CHULIT	CHOTA	SI	NORTE	TRUJILLO
10	TUNEL CONCHANO	CONGA BLANCA	CHOTA	SI	NORTE	TRUJILLO
11	LLALLAN	EL COCO	CHILETE	SI	NORTE	TRUJILLO
12	SAN JUAN DE LA CAMACA.	SAN JUAN DE LA CAMACA	BAMBAMARCA	SI	NORTE	TRUJILLO
13	SAN ANTONIO ALTO	SAN ANTONIO ALTO	BAMBAMARCA	SI	NORTE	TRUJILLO
14	APAN BAJO	APAN BAJO	BAMBAMARCA	SI	NORTE	TRUJILLO
15	SAN ANTONIO	SAN ANTONIO DE LA BALSA	SAN IGNACIO	SI	NORTE	TRUJILLO
16	HUAYOBAMBA	HUAYOBAMBA	SAN MARCOS	SI	NORTE	TRUJILLO
17	NITISUYO ALTO	NITISUYO ALTO	SAN MIGUEL DE PALLAQUES	SI	NORTE	TRUJILLO
18	EL PATIñO	EL PALTO	SAN PABLO	SI	NORTE	TRUJILLO
19	RAMIRO PRIALE	CULLPA BAJA	EL TAMBO	SI	CENTRO	LIMA
20	CULLPA	CULLPA BAJA	EL TAMBO	SI	CENTRO	LIMA
21	HUARI	HUARI	HUAYUCACHI	SI	CENTRO	LIMA
22	COILLOR	COYLLOR GRANDE	SAN AGUSTIN	SI	CENTRO	LIMA
23	MILUCHACA	MILUCHACA	SAPALLANGA	SI	CENTRO	LIMA
24	MIRAFLORES	MIRAFLORES	SAPALLANGA	SI	CENTRO	LIMA
25	COCHARCAS	COCHARCAS	SAPALLANGA	SI	CENTRO	LIMA
26	MARAVILCA	MARAVILCA	MATAHUASI	SI	CENTRO	LIMA
27	HUANCAS	CUÐAS	JAUJA	SI	CENTRO	LIMA
28	TINYARI CHICO	TINYARI CHICO	CHUPACA	SI	CENTRO	LIMA
29	POMAPE	POMAPE	MONSEFU	SI	NORTE	TRUJILLO
30	VALLE HERMOSO	VALLE HERMOSO	MONSEFU	SI	NORTE	TRUJILLO
31	COLLIQUE	CORRAL DE PALOS	CAYALTI	SI	NORTE	TRUJILLO
32	MARAVILLAS	MARAVILLAS	MOCHUMI	SI	NORTE	TRUJILLO
33	LOS SANCHEZ	SANCHEZ	TUCUME	SI	NORTE	TRUJILLO
34	LA RAYA	LA RAYA	TUCUME	SI	NORTE	TRUJILLO

TABLA 5.4 RESUMEN PERFIL TÉCNICO ZONAS ADMINISTRATIVAS
(Fuente: Elaboración propia)

5.4 Costos de implementación de los servicios

En esta sección para el cálculo de los servicios a pagar a TdP se considera el perfil técnico resumen de la TABLA 5.5 que muestra las localidades cabeceras agrupadas en 2 POPs para minimizar costos, los cuales son solo por servicios y en esta etapa no incluye costos de inversión de infraestructura del TO ni obras varias, las mismas que mas adelante se le consideran en el flujo de caja para el análisis económico.

Disponibilidad del servicio acceso BA xDSL por cabecera*

Departamento	Cabeceras con baja inversión
Ancash	08
Cajamarca	10
Junín	10
Lambayeque	06
TOTAL	34

TABLA 5.5 CABECERAS POR ZONIFICACIÓN DEPARTAMENTAL
(Fuente: Elaboración propia)

5.4.1 Pagos por servicios

5.4.1.1 Estudio para desarrollo del proyecto especial

Costos de inversión pago único (sin IGV) de S/. 2,751.36 para provincias y S/. 832.89 para Lima Metropolitana por desarrollo de propuesta de solución integral por parte de TdP para la interconexión por localidad seleccionada (ver los detalles en la TABLA 5.8), no incluye costos por interconexión de última milla del TO ni de inversiones de infraestructura de implementación de PoPs del TO, más adelante se muestran los costos de inversión totales por pago único según cantidad de usuarios (100, 500, 1000 y 2000 usuarios) por puntos de acceso Wi-Fi.

5.4.1.2 Pago mensual recursivo por servicio

Pago mínimo (sin IGV) recurrente mensual a TdP por localidad seleccionada de S/. 481.56 para provincias y S/. 229.09 para Lima Metropolitana, monto que varía en función de la capacidad de los enlaces de transmisión, ancho de banda, cantidad de usuarios y mejoras de infraestructura (ver los detalles en la TABLA 5.9), no considera pagos mensuales por tráfico telefónico de interconexión a otros operadores (Claro, Entel, Bitel, etc.) ni gastos internos propios del TO ni por O&M, más adelante se muestra el costo total de pago mensual recursivo o recurrente según cantidad de usuarios (100, 500, 1000 y 2000 usuarios) por concepto de Internet de TdP.

5.4.2 Conceptos comprendidos

5.4.2.1 Enlaces de interconexión

- 1 enlace de interconexión de fibra óptica en el PdI de Lima.
- 1 derecho de paso (cable coaxial/fibra óptica) en el PdI de Trujillo.

5.4.2.2 Circuitos banda ancha xDSL

- Conexión a los PoPs en Lima y Trujillo.
- Una puerta Fast ethernet de 100 Mbps en cada PoP.
- Circuitos virtuales ATM para acceso ADSL a 2 Mbps por cada cabecera DSLAM ATM y 10 Mbps por cada cabecera DSLAM ethernet.
- Velocidad de acceso ADSL a 2 Mbps por cada cabecera.

5.4.2.3 Enlaces arrendados

- 1 enlace arrendado Fast ethernet 100 Mbps local Lima para conectar el PoP de Lima con el local del TO en Lima.
- 1 enlace arrendado Fast ethernet 100 Mbps local provincias para conectar el PoP de Trujillo con el local del TO en Trujillo.

5.4.2.4 Circuito Infointernet acceso Ethernet

- 2 circuitos, 1 en Lima y 1 en Trujillo con capacidades de 10 Mbps cada uno.

5.4.2.5 Circuitos IP VPN acceso Ethernet

- 2 circuitos, 1 en Lima y 1 en Trujillo con capacidades de 10 Mbps cada uno.

5.4.2.6 Líneas telefónicas

La ejecución del perfil está sujeta a la existencia de facilidades técnicas. La provisión independiente de cualquiera de las prestaciones que integran la solución implica la reformulación de las condiciones económicas presentadas.

- 1 línea telefónica, p.e.: plan control económico para cada cabecera.

5.4.3 Conceptos facturables

Se refiere a conceptos facturables a los costos que la operadora TdP estaría cobrando por el alquiler de su infraestructura, interconexión y servicios. Se agrupan en dos categorías: pagos únicos por interconexión y en pagos recurrentes mensuales.

En las TABLAS 5.6 y 5.7 se muestran los preciarios referenciales de TdP de éstos conceptos facturables (pagos únicos y recurrentes o recursivos) por servicios cuyos pagos dependerán del detalle técnico de los recursos o facilidades técnicas a ser utilizados en el proyecto.

PAGOS ÚNICOS POR INTERCONEXIÓN		
Enlace de Interconexión	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Adecuación de red	01 - 2 Mbps	13,050
▪ Cargo por instalación de enlace de interconexión por fibra óptica	01 - 10 Mbps	51,28*d
▪ Instalación y activación de línea telefónica (Control Económica)	1	8
▪ Habilitación del PTS	1	5,000
Circuitos Banda Ancha ADSL	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Habilitación de puerta y configuración de interfaz Ethernet	01 -10/100 Mbps	5,000
▪ Configuración de PVC (circuito virtual ATM para acceso ADSL) (c/u) ó configuración de VLAN y VLL para acceso Ethernet	1	16.71
▪ Instalación de acceso ADSL (c/u)	1	16.71
Circuitos InfoInternet con acceso Ethernet	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Instalación del servicio por puerta	1	100
Circuitos IP VPN con acceso Ethernet	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Instalación del servicio por puerta	1	100
Enlaces Arrendados	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Alta enlace arrendado rango LL (local Lima)	01 – 100 Mbps	9,600 (*)
▪ Alta enlace arrendado rango LP (local provincias)	01 – 100 Mbps	20,800 (*)

d: distancia entre la central del operador y la central de acceso al PdI de TDP (en metros)

(*): no incluye el pago por proyecto especial en caso de ser requerido

TABLA 5.6 PRECIARIO PAGO ÚNICO POR INTERCONEXIÓN
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

PAGOS RECURRENTES MENSUALES		
Enlace de Interconexión	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Alquiler de enlace de interconexión por fibra óptica	01 -10 Mbps	400
▪ Plan tarifario Control Económica	1	12
Circuitos Banda Ancha	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Uso de puerta Fast Ethernet 100Mbps	01- 100 Mbps	2,275
▪ Uso de PVC (circuitos virtuales ATM para acceso ADSL)	01 -2M/512 Kbps	45.58
▪ Velocidad de acceso ADSL	01 – 2M/512 Kbps	45.58
Circuitos Infointernet con acceso Ethernet	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Servicio por puerta, acceso Ethernet y caudal IP por cada 1Mbps	1	612
▪ Alquiler de equipos (CPE Metro)(+)	1	Según capacidad
Circuitos IP VPN con acceso Ethernet	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Servicio por puerta, con acceso Eth y caudal IP plata Tx (10 Mbps)	1	1,098
▪ Sustitución caudal IP plata a caudal IP Oro por cada 1Mbps	1	84
▪ Caudal IP de navegación LDN, por puerta	01 E1	2,090
▪ Alquiler de equipos Router (+)	1	Según capacidad
▪ Alquiler de equipos Media Converter (+)	1	Según capacidad
Enlaces arrendados	**Cantidad**	**US $ (sin IGV)**
▪ Alquiler enlace arrendado rango LL (local Lima)	01 E3	3,629
▪ Alquiler enlace arrendado rango LP (local provincias)	02 E3	7,776

(+) : El equipamiento lo puede proveer el operador o solicitar la venta o alquiler a TdP

TABLA 5.7 PRECIARIO PAGOS RECURRENTES MENSUALES
(Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.)

En el ANEXO J (cuadros J1, J2 y J3) se muestran las tarifas referenciales de TdP de los componentes individuales utilizados para la estimación de la inversión.

5.4.4 Resumen de costos de servicio

Se resumen los costos por localidad para provincias y se agrega de referencia una estimación para Lima metropolitana tanto para el caso de la inversión inicial como para los costos recursivos. Para los casos de provincias que son más complicados de estimar por temas de infraestructura y facilidades técnicas existentes se considera como costo por localidad el promedio de las 34 localidades cabeceras seleccionadas.

5.4.4.1 Estimación de costos de inversión única

En la TABLA 5.8 se muestra el costo promedio por servicios por localidad para localidades cabeceras de provincia (34 seleccionadas) y adicionalmente lo estimado para localidades de Lima Metropolitana. Se paga por única vez en el proceso de implementación.

Costos Pago Unico por Interconexión por localidad PROVINCIA	
Adecuación de Red	383,82
Enlace de Interconexión por FO (25 mts promedio)	1282,00
Instalación y activación de línea Telefónica (Control)	8,00
Habilitación del PTS	147,06
Habilitación de la puerta y config. PVC ATM	16,71
VLAN y VLL interfaz Ethernet	16,71
Circuito Infointernet ó IP VPN (acceso internet)	2,94
Enlace Local Provincias	611,76
Enlace Local Lima	282,35
TOTAL Dolares USA $/	2751,36

Costos Pago Unico por Interconexión por localidad LIMA	
Adecuación de Red	383,82
Enlace de Interconexión por FO (25 mts promedio)	0,00
Instalación y activación de línea Telefónica (Control)	0,00
Habilitación del PTS	147,06
Habilitación de la puerta y config. PVC ATM	0,00
VLAN y VLL interfaz Ethernet	16,71
Circuito Infointernet ó IP VPN (acceso internet)	2,94
Enlace Local Provincias	0,00
Enlace Local Lima	282,35
TOTAL Dolares USA $/	832,89

TABLA 5.8 PAGO ÚNICO LOCALIDAD (PROVINCIA Y LIMA)
(Fuente: Elaboración propia)

5.4.4.2 Estimación de costos recursivos mensuales

En la TABLA 5.9 se muestra el costo promedio por servicios por localidad para localidades cabeceras de provincia (34 localidades) y adicionalmente lo estimado para localidades de Lima Metropolitana.

El pago es mensualmente en forma recurrente mientras se tenga la relación contractual con TdP y está sujeta a variaciones por los cambios tarifarios autorizados. Tomar nota que para el caso caracterizado de las 34 localidades propuestas, los pagos

corresponden a localidades de provincias. Adicionalmente se ha incluido como referencia los pagos para casos de localidades similares en Lima Metropolitana.

Costos Recurrente promedio por localidad PROVINCIA	
Alquiler enlace de Interconexión por FO	11,76
Plan Tarifario Control Económica	12,00
Uso de puerto Fast Ethernet	66,91
Uso de PVC ATM	1,34
Velocidad de Acceso	1,34
Servicio por puerta acceso Infointernet	18,00
Alquiler de equipos CPEs	0,00
Servicio por puerta acceso IP VPN	32,29
Caudal IP Oro por Mbps	2,47
Alquiler de Routers	0,00
Alquiler de Media Converters	0,00
Enlace Local Provincias	228,71
Enlace Local Lima	106,74
TOTAL Dolares USA $/	481,56

Costos Recurrente promedio por localidad LIMA	
Alquiler enlace de Interconexión por FO	0,00
Plan Tarifario Control Económica	0,00
Uso de puerto Fast Ethernet	66,91
Uso de PVC ATM	1,34
Velocidad de Acceso	1,34
Servicio por puerta acceso Infointernet	18,00
Alquiler de equipos CPEs	0,00
Servicio por puerta acceso IP VPN	32,29
Caudal IP Oro por Mbps	2,47
Alquiler de Routers	0,00
Alquiler de Media Converters	0,00
Enlace Local Provincias	0,00
Enlace Local Lima	106,74
TOTAL Dolares USA $/	229,09

TABLA 5.9 PAGO RECURSIVO LOCALIDAD PROVINCIA Y LIMA
(Fuente: Elaboración propia)

Cabe mencionar que para la estimación de los demás costos marginales relacionados con la implementación del proyecto, se debe tener en cuenta que este proceso de desarrollar una aproximación de los recursos monetarios necesarios para completar todas las actividades colaterales del proyecto debe incluir la identificación y consideración de diversas alternativas de cálculo de costos para iniciar y completar el proyecto.

Las estimaciones de los costos presentados son referenciales y pueden variar en un corto tiempo por lo que deben refinarse durante el transcurso de la implantación del proyecto para reflejar los detalles adicionales a medida que éstos se vayan presentando. La exactitud de la estimación del costo aumentará conforme avance la implementación a lo largo de los ciclos de vida de las fases de implementación del proyecto.

Considerar que para lograr un costo óptimo, debe tomarse en cuenta el equilibrio entre costos y riesgos, como hacer en lugar de comprar, comprar en lugar de alquilar infraestructura del tercer operados, y analizar el intercambio de recursos.

Tener en cuenta que los costos deben estimarse para todos los recursos que se asignarán al proyecto, esto incluye, entre otros, el personal, los materiales, el equipo, los

servicios, las instalaciones, el costo para casos de contingencia y de ser el caso considerar el factor de inflación.

En las secciones subsiguientes se presenta una estimación de los costos de equipos para el despliegue de la "última milla", en este caso acceso inalámbrico al usuario final, adicionalmente los costos de equipamiento referencial para el nodo PoP de cara a TdP, con lo cual se complementa la estimación de los márgenes de inversión a realizar por el TO. Dicha información se presenta como requerimiento previo para el análisis de los parámetros de rentabilidad que se analizan en el capítulo siguiente.

5.5 Caracterización de zona de atención última milla

Para caracterizar el escenario de "última milla" de usuarios, bien se puede considerar una localidad rural donde se presenta una densidad considerable de usuarios o bien una localidad emergente de zona urbana.

Este es un punto sensible para la estimación de la rentabilidad ya que la cantidad de usuarios a servir no solo está ligada con una mayor o menor eficiencia en la utilización de los recursos si no que de la oferta de penetración al usuario final depende conseguir definitivamente en mayor o menor escala la generación de los ingresos recursivos del TO.

Para la caracterización referencial tomamos una localidad pequeña para provincias rurales en la que se estima que haciendo el TO un trabajo comercial previo para el inicio de operaciones llegue a la cantidad entre 100 a 500 clientes. El precio final ofrecido a los clientes dependerá de lo que TdP cobre al TO y considerando sus márgenes de utilidad.

Adicionalmente en forma complementaria se considera un caso de zona urbana donde se tenga una cobertura de entre 1000 a 2000 clientes en Lima y donde el atractivo del negocio sea ofrecer el servicio inalámbrico Wi-Fi a celulares y todo dispositivo capaz de soportar Wi-Fi, aparte del servicio ofrecido a usuarios de *laptop-desktop* y celulares inteligentes que trabajen como mini computadoras personales.

5.6 Última milla inalámbrica WLAN/WI-FI

Las redes locales inalámbricas WLANs basadas en el estándar 802.11 se han extendido con mucho éxito dentro de una gran variedad de ambientes, incluyendo el hogar, las oficinas y las corporaciones.

Desde la introducción del estándar 802.11, a la fecha se han propuesto y aprobado diversas extensiones por la IEEE, éstas incluyen los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g.

En este trabajo se propone para la parte omnidireccional el uso al medio MAC del estándar *IEEE* 802.11g, que opera en la banda de frecuencia no licenciada de los 2.4 GHz (2.412 - 2.4835 GHz ISM *Band - Industrial, Scientific and Medical*), compatible con el estándar 802.11b.

De otro lado para la extensión de cobertura y el *backhaul* para la interconexión direccional entre antenas se propone el 802.11a, que opera en las bandas no licenciadas de 5 GHz (5.150 GHz- 5.350 GHz, 5.470 GHz - 5.725 GHz, 5.725 GHz - 5.825 GHz.).

Respecto a la tecnología para la selección de los APs y sus controladores no hay mayores inconvenientes por ser dispositivos de lado terminal, repetición o de control, no obstante según las características específicas de cada localidad se tiene que afinar el estudio técnico para elegir bien los tipos de antenas y receptores y de acuerdo a eso conocer los precios y los gastos más ajustados para saber cuánto va ser el costo exacto.

En caso que vayan aumentando los usuarios o una localidad mediana a grande donde se requiera un mayor alcance y cobertura extensa se debe elegir un lugar central y ahí formar la estación base. El enfoque de extensión de los servicios se muestra en las FIGURA 5.4.

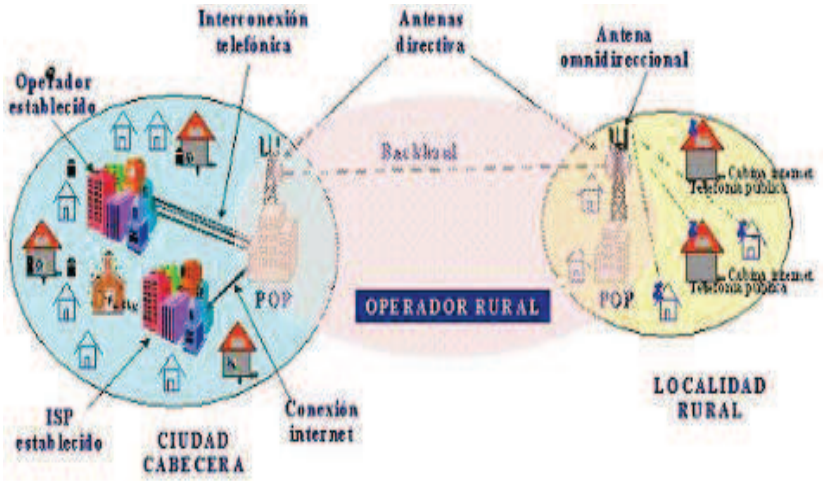


FIGURA 5.4 CONECTIVIDAD ACCESO INALÁMBRICO
(Fuente: FITEL - Ministerio Transportes y Cominuicaciones)

En la FIGURA 5.5 se muestra un esquema de conectividad validado por FITEL (ver ANEXO K).

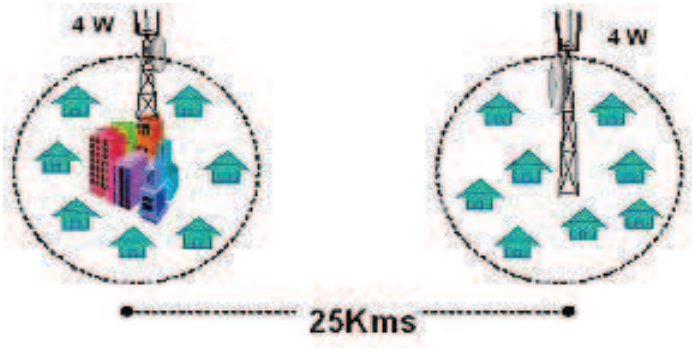


FIGURA 5.5 INTERCONECTIVIDAD ACCESO INALÁMBRICO
(Fuente: FITEL - Ministerio Transportes y Cominuicaciones)

Para el dimensionamiento consideramos una localidad con un dimensionamiento de una antena abarcando un radio hasta donde nos den opción las antenas e incrementar estas conforme aumenta la demanda.

En un punto se podría atender hasta 2000 usuarios con una antena onmidireccional y una antena direccional, más un controlador de *Wireless* - LAN para incorporar la funcionalidad de *roaming* que es una parte importante para el acceso a servicio de Internet de BA.

5.7 Costos de implementación última milla

En esta sección se estiman los costos promedios de los equipos para el acceso de última milla inalámbrico "*wireless last mile*" con QoS y se calculan los parámetros de rentabilidad que nos sirva de referencia para la implementación integral del proyecto.

Los elementos que se requieren son: WLAN *Controller*, accesorios por EB (Estación Base) conformado por las torres y AP, antenas omnidireccionales- direccionales y receptores terminales de usuario USB (*Universal Serial Bus*) – BAM (Banda Ancha Móvil). Como referencia en la TABLA 5.10 se mencionan alternativas de equipos[35] de fabricantes de sistemas WLAN *Controller.*

[35] No siendo el alcance del presente estudio seleccionar marcas de equipos si no modelos de red y dado que para implementar la "última milla" inalámbrica existen muchas alternativas de fabricantes en el mercado en especial para AP y antenas, la selección debe ser un manejo propio del TO, no obstante se indican opciones para evaluación de los interesados.

• Cisco WLAN *Controller* 4000 ó 5500 Series hasta para 500 APs.
• Huawei WS6603 WLAN *Controller* hasta para 512 APs.
• Alcatel-Lucent OmniAccess 6000 (OAW-6000) *Controller* hasta para 512 APs.
• Enterasys Networks WS-C4110 WLAN *Controller* hasta para 250 APs.

TABLA 5.10 TABLA DE EQUIPOS WLAN CONTROLLER
(Fuente: Brochures de fabricantes)

Para la evaluación económica, se toma como referencia en el caso del WLAN *Controller,* los precios de tecnología Cisco teniendo en cuenta su amplio despliegue en el mercado, su calidad y soporte técnico garantizado por existir numeroso personal certificado en dicha tecnología. Los precios de los controladores WLAN varían de acuerdo a su modelo capacidad.

Para los accesorios se toma como referencia los costos de las torres y APs por EB (Estación Base) y para los precios de las antenas omnidireccionales y direccionales, considerando que los modelos exactos dependen de la geografía y línea de vista de la localidad tomamos como referencia el promedio por EB y respecto a los receptores terminales de usuario, tomamos modelos referenciales del tipo módems USB - BAM de Movistar y otros operadores, en la TABLA 5.11 se resumen los precios referenciales para la implementación de la "última milla".

DESCRIPCION	EQUIPAMIENTO - INFRAESTRUTURA	COSTOS
WLAN Controller por PoP	Cisco WLAN Controller	$ 2800 - $11.000
Inraestructura de torres por EB	Torres de 21- 30 Metros	$ 700 - $ 1000
Accesorios por EB: AP	Access Point Cisco 1240	$ 450
Antenas omnidireccionales por EB	Antenas Omnidireccional	$ 450
Antenas direccionales por EB	Antenas Direccional	$ 150
Modem USB BAM por usuario	Receptor Cisco Compact Wireless-G USB Adapter	$ 30

TABLA 5.11 COSTOS IMPLEMENTACION ÚLTIMA MILLA
(Fuente: Elaboración propia)

Considerando estas premisas se estima áreas de cobertura sea para provincias o Lima Metropolitana, para la atención de puntos con 100, 500, 1000 y 2000 usuarios, en la TABLA 5.12 se muestran los costos de inversión pago único por puntos de acceso Wi-Fi más los costos recursivos o recurrentes mensuales por concepto de Internet de TdP (no incluye gastos de obras varias menores ni mantenimiento).

Costos Unico de Acceso wi-fi para 100 ususarios - TOTAL DOLARES USA $/	1600,00
Torres de 21 Metros	700,00
Access Point 1240 (1.5 Km/200xAP)	450,00
Antena OmniDireccinal	450,00
Cisco WLAN CONTROLLER (Serie 2500)	0,00
Costo por SISEGO de Interconexion INTERNET (1)	0,00
Receptor Cisco Compact Wireless-G USB Adapter (2)	3000,00
Costos Recurente acceso a Internet 100 ususarios (3) DOLARES USA $/	**625,00**
Inversión infraestructura acceso WIFI por usuario Dólares USA $/	16,00
(1) No aplica para PROVINCIA. No incluye costos por proyecto especial	
(2) Costo trasladado al cliente (no considerado en el TOTAL)	
(3) Tráfico simultaneo 20% CIR garantizado a definir, BW=128 K	

Costos Unico de Acceso wi-fi para 1000 ususarios - TOTAL DOLARES USA $/	10682,89
Torres de 21 Metros (2)	1400,00
Access Point 1240 (1.5 Km/200xAP)	2250,00
Antenas (2: Omni+Direccinal)	1200,00
Cisco WLAN CONTROLLER (Serie 4000)	5000,00
Costo por SISEGO de Interconexion INTERNET (1)	832,89
Receptor Cisco Compact Wireless-G USB Adapter (2)	30000,00
Costos Recurente acceso a Internet 1000 ususarios (3) DOLARES USA $/	**6250,00**
Inversión infraestructura acceso WIFI por usuario Dólares USA $/	10,68
(1) No aplica para PROVINCIA. No incluye costos por proyecto especial	
(2) Costo trasladado al cliente (no considerado en el TOTAL)	
(3) Tráfico simultaneo 20% CIR garantizado a definir, BW=128 K	

Costos Unico de Acceso wi-fi para 500 ususarios - TOTAL DOLARES USA $/	5300,00
Torres de 21 Metros	700,00
Access Point 1240 (1.5 Km/200xAP)	1350,00
Antena OmniDireccinal	450,00
Cisco WLAN CONTROLLER (Serie 2500)	2800,00
Costo por SISEGO de Interconexion INTERNET (1)	0,00
Receptor Cisco Compact Wireless-G USB Adapter (2)	15000,00
Costos Recurente acceso a Internet 500 ususarios (3) DOLARES USA $/	**3125,00**
Inversión infraestructura acceso WIFI por usuario Dólares USA $/	53,00
(1) No aplica para PROVINCIA. No incluye costos por proyecto especial	
(2) Costo trasladado al cliente (no considerado en el TOTAL)	
(3) Tráfico simultaneo 20% CIR garantizado a definir, BW=128 K	

Costos Unico de Acceso wi-fi para 2000 ususarios - TOTAL DOLARES USA $/	12932,89
Torres de 21 Metros (2)	1400,00
Access Point 1240 (1.5 Km/200xAP)	4500,00
Antenas (2: Omni+Direccinal)	1200,00
Cisco WLAN CONTROLLER (Serie 4000)	5000,00
Costo por SISEGO de Interconexion INTERNET (1)	832,89
Receptor Cisco Compact Wireless-G USB Adapter (2)	60000,00
Costos Recurente acceso a Internet 2000 ususarios (3) DOLARES USA $/	**12500,00**
Inversión infraestructura acceso WIFI por usuario Dólares USA $/	6,47
(1) No aplica para PROVINCIA. No incluye costos por proyecto especial	
(2) Costo trasladado al cliente (no considerado en el TOTAL)	
(3) Tráfico simultaneo 20% CIR garantizado a definir, BW=128 K	

(1) Costo trasladado al cliente (no considerado en el TOTAL.

(2) No incluye costos por proyecto especial.

(3) Tráfico simultaneo 20% CIR garantizado a definir, BW=128 K.

TABLA 5.12 COSTOS DE ACCESO WI-FI + INTERNET
(Fuente: Elaboración propia)

5.8 Caracterización y costos de implementación del PoP

En coherencia con el planteamiento desarrollado de considerar varias localidades para tener un promedio más realista de costos por localidad se plantea como escenario para la evaluación económica (con condiciones críticas) un PoP para Lima y un PoP para provincia, en este caso Trujillo.

Las aplicaciones de voz sobre IP para interoperar con una plataforma NGN, necesitan un *appliance* que cumpla con las funciones de servidor *Softswitch* de conmutación de paquetes IP y SBC dispositivo programable para el control de las llamadas de VoIP. Este *appliance* debe permitir el manejo de los protocolos SIP para su interconexión con los SG y MGW de cara a TdP para la interconexión con la red de telefonía pública (FIGURA 5.6).

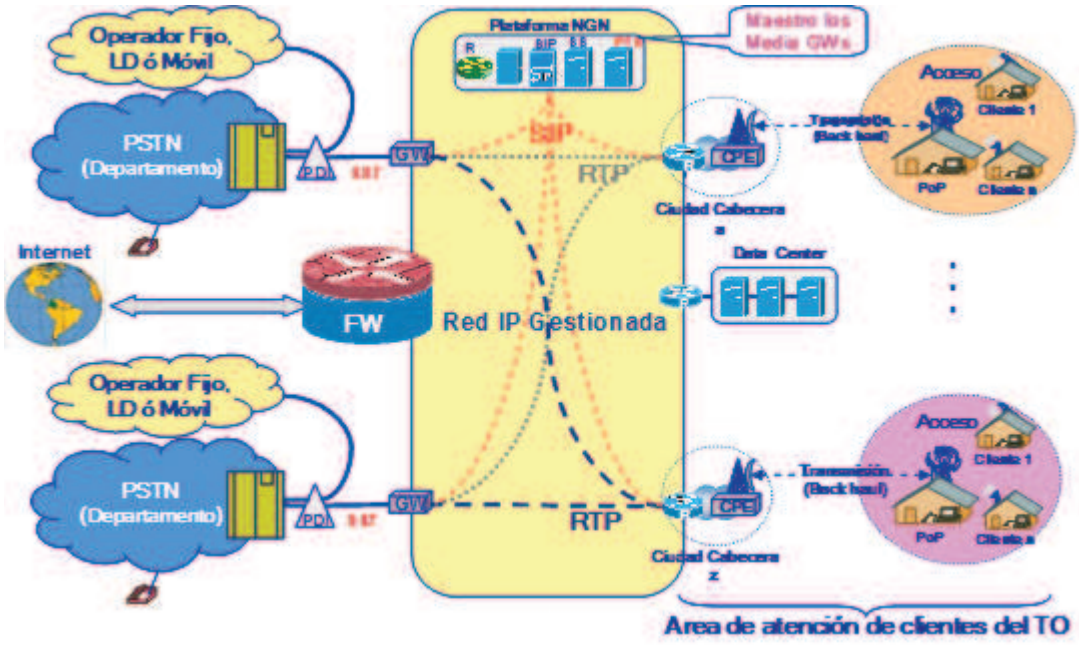


FIGURA 5.6 INTEROPERATIBILIDAD TO CON RED NGN Y PSTN
(Fuente: Elaboración propia)

La implementación del PoP requiere básicamente de un router con *software* de agregador de servicios que además de tener la capacidad de manejar datos y video *streaming*, debe integrar el manejo de los servicios de VoIP y telefonía IP para la interconexión a la central telefónica de transito de TdP.

Lo mismo se debe replicar para el PoP secundario que se implementen en provincias con la diferencia que deben ser equipos de menor capacidad, este es el caso a aplicar para las 34 localidades seleccionadas. Como referencia en la TABLA 5.13 se mencionan alternativas de equipos[36] de fabricantes del equipamiento *Appliance Edge Router* para el PoP del TO.

- Cisco 7200 VXR ó ASR 1000 Series Aggregation Services Routers.
- Huawei Quidway NetEngine 05 ó NE20E-8 High-end Router Series.
- Alcatel-Lucent 7705 SAR-M Service Aggregation Router.
- Juniper Networks M7i ó M10i Series Multiservice Edge Router.

TABLA 5.13 TABLA DE EQUIPOS WLAN CONTROLLER
(Fuente: Brochures de fabricantes)

[36] Igual a lo mencionado en la sección 5.7 para costos de referencia, no siendo la intención seleccionar marcas de equipos que es tema interno del TO, solo se mencionan opciones de equipos para evaluación del interesado.

Se toma como referencia los precios de equipos Cisco considerando que es el más difundido en el mercado empresarial, cumple ampliamente los requisitos para agregación, VoIP, NGN y router de borde para el PoP de TO y cuenta con amplio soporte técnico en el mercado.

En la TABLA 5.14 se muestra el resumen de éstos costos de Inversión para un PoP de provincia (hasta 1000 clientes) y adicionalmente se muestra como referencia los costos de un POP para Lima Metropolitana (hasta 5000 clientes).

Costos Unico de POP LIMA hasta 5000 ususarios * TOTAL DOLARES USA $/	**54970,00**
Router 7200 Cisco con funciones de : Sotware Agregación de Servicios Managed Voice and Voice Gateway Signalling and Media Gateways Session Border Controller SIP and H.323 Server	54000,00
FO a EB (100 mts/24 fibras) + Terminación de Fibra y ODF	970,00

* Incluye Licencias, no incluye gastos de Obras Varias

Costos Unico de POP PROVINCIA hasta 1000 ususarios * TOTAL DOLARES USA $/	**45845,00**
ASR 1000 Series Routers CISCO con funciones de : Sotware Agregación de Servicios Managed Voice and Voice Gateway Signalling and Media Gateways Session Border Controller SIP and H.323 Server	45000,00
FO a EB (50 mts/24 fibras) + Terminación de Fibra y ODF	845,00

* Incluye Licencias, no incluye gastos de Obras Varias

TABLA 5.14 COSTOS POP PROVINCIA Y LIMA
(Fuente: Elaboración propia)

5.9 Resumen de costos de inversión

En el presente sección se muestra en la TABLA 5.15 los costos de inversión finales (inversión costo total pago único y recurrente o recursivo mensual para provincias y Lima Metropolitana) que incluye todos los pagos por servicios (referencia TABLA 5.8 y 5.9).

En el caso de provincias se considera como ejemplo la atención de 100 y 500 clientes (en las 34 localidades seleccionadas) y adicionalmente para atención en zonas específicas de Lima Metropolitana con escenarios de 1000 y 2000 clientes.

Para mayor detalle se incluye el costo unitario estimado por usuario para provincia y Lima Metropolitana.

LOCALIDAD PROVINCIA 100 Usuarios		
Inversión Unica por Localidad Provincias	**$/**	**50196,36**
Costos Pago Unico por Interconexión por localidad PROVINCIA		2751,36
Costos Unico de Acceso wi-fi para 100 ususarios		1600,00
Costos Unico de POP PROVINCIA		45845,00
Obras Civiles adicionales más miscelaneos y contingencias		5019,64
Costo Total Unico por Usuario Provincias	**$/**	501,96
Costos Recurrente por Localidad Provincias	**$/**	**1106,56**
Costos Recursivo promedio por localidad PROVINCIA		481,56
Costos Recurente acceso a Internet 100 ususarios		625,00
Costo Total Recurrente por Usuario Provincia	**$/**	11,07

LOCALIDAD LIMA 1000 Usuarios		
Inversión Unica por Localidad LIMA	**$/**	**56527,89**
Costos Pago Unico por Interconexión por localidad LIMA		832,89
Costos Unico de Acceso wi-fi para 1000 ususarios		9850,00
Costos Unico de POP LIMA		45845,00
Obras Civiles adicionales más miscelaneos y contingencias		5652,79
Costo Total Unico por Usuario LIMA	**$/**	56,53
Costos Recurrente por Localidad LIMA	**$/**	**6479,09**
Costos Recursivo promedio por localidad LIMA		229,09
Costos Recurente acceso a Internet 1000 ususarios		6250,00
Costo Total Recurrente por Usuario LIMA	**$/**	6,48

LOCALIDAD PROVINCIA 500 Usuarios		
Inversión Unica por Localidad Provincias	**$/**	**53896,36**
Costos Pago Unico por Interconexión por localidad PROVINCIA		2751,36
Costos Unico de Acceso wi-fi para 500 ususarios		5300,00
Costos Unico de POP PROVINCIA		45845,00
Obras Civiles adicionales más miscelaneos y contingencias		5389,64
Costo Total Unico por Usuario Provincias	**$/**	107,79
Costos Recurrente por Localidad Provincias	**$/**	**3606,56**
Costos Recursivo promedio por localidad PROVINCIA		481,56
Costos Recurente acceso a Internet 500 ususarios		3125,00
Costo Total Recurrente por Usuario Provincia	**$/**	3,61

LOCALIDAD LIMA 2000 Usuarios		
Inversión Unica por Localidad LIMA	**$/**	**67902,89**
Costos Pago Unico por Interconexión por localidad LIMA		832,89
Costos Unico de Acceso wi-fi para 2000 ususarios		12100,00
Costos Unico de POP LIMA		54970,00
Obras Civiles adicionales más miscelaneos y contingencias		6790,29
Costo Total Unico por Usuario LIMA	**$/**	33,95
Costos Recurrente por Localidad LIMA	**$/**	**12729,09**
Costos Recursivo promedio por localidad LIMA		229,09
Costos Recurente acceso a Internet 2000 ususarios		12500,00
Costo Total Recurrente por Usuario LIMA	**$/**	6,36

TABLA 5.15 COSTO TOTAL ÚNICO Y RECURRENTE PROVINCIAS Y LIMA
(Fuente: Elaboración propia)

A dichos pagos por servicios y costos de inversión únicos, costos mensuales de servicios recursivos, se le agregan los costos mensuales por salida a Internet y gastos mensuales por operación y mantenimiento.

Para obtener el flujo de caja se consideran los ingresos estimados por los servicios brindados a los clientes del TO, lo cual conforma la base para el cálculo de los parámetros de rentabilidad para la evaluación económica a realizar en el capítulo siguiente. Adicionalmente como respaldo para obras civiles menores adicionales, misceláneas, contingencias o gastos imprevistos, en costo de inversión en el año cero se considera una guarda del 10%.

Teniendo en cuenta lo descrito en la sección 5.3 de caracterización y selección de localidades, los costos de implementación de servicios por arrendamiento de infraestructura a TdP que se detallan en la sección 5.4, los requerimientos de

infraestructura del TO que se reflejan en las estimaciones de costos de implementación de la “última milla” y los costos de los “puntos de presencia” y la estimación de los gastos de O&M, en las secciones siguientes se indican los criterios utilizados para la evaluación económica del proyecto.

Complementariamente con el propósito de determinar el flujo de caja para la evaluación correspondiente de los parámetros de rentabilidad de la implantación del modelo de red propuesto se realiza la estimación de los ingresos y los egresos adicionales para la implementación del proyecto.

En adición al análisis formal y académico de la evaluación económica que indica la rentabilidad beneficio/costo del proyecto, tiempo de recuperación de las inversiones y márgenes de utilidad, independientemente de la interpretación de los resultados económicos se hace especial relevancia de los aspectos socio-económicos a tener presente respecto al beneficio a la sociedad que se aporta con la implantación de la red para el desarrollo de las localidades seleccionadas.

5.10 Análisis económico e interpretación de resultados

Para la evaluación económica se han considerado los parámetros TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto). Se ha considerado escenarios con un r= 10 % (conservador) y un r=16% (exigente) para ver la sensibilidad. Se ha estimado un periodo de 5 años de evaluación que es el tiempo calificado en que los equipos electrónicos pasan a depreciación.

El TIR de una inversión es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión que implica el supuesto de una oportunidad para "reinvertir", conceptualizándose como el costo de capital con la que el VAN es igual a cero, donde el costo de capital está en el costo de oportunidad (r) que es la medida financiera que se aplica para determinar el VAN de un pago futuro.

El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial de tal modo que el valor obtenido es el VAN del proyecto.

El costo de oportunidad es el valor descartado debido a la realización o no de la inversión y se mide por la rentabilidad esperada de los fondos invertidos, este costo de oportunidad es como mínimo igual al rendimiento o sea al resultado deseado efectivamente obtenido por cada unidad que realiza la "actividad económica".

La relación Beneficio/Costo está representada por la relación Ingresos/Egresos, en donde los ingresos y los egresos son calculados utilizando el VAN de acuerdo al flujo de caja y costo de oportunidad del capital. Una B/C > 1 implica que los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto es rentable, una B/C = 1 implica que los ingresos son iguales que los egresos, entonces el proyecto es indiferente y una B/C < 1 implica que los ingresos son menores que los egresos, entonces el proyecto no es rentable.

Para el flujo de caja se ha considerado la inversión única (periodo cero) y los pagos recursivos a TdP (tanto por el uso de su infraestructura como por el uso de acceso a Internet), los costos de operación/mantenimiento y los ingresos estimados en un promedio de S/50.00 nuevos soles o $.18.50 dólares (TC: 2.7) por usuario.

Bajo los criterios indicados y aplicación de parámetros descritos, se realizó la evaluación económica analizando el escenario de provincias de 34 localidades seleccionadas, considerando escenarios de 100 a 500 clientes, y adicionalmente como un aporte de referencia para el caso de Lima Metropolitana considerando escenarios de 100 a 2000 clientes.

Como análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de los parámetros de rentabilidad se contemplaron escenarios de 100, 200, 300, 400 y 500 clientes tanto para los casos de provincias como para los casos de Lima Metropolitana, y adicionalmente para Lima metropolitana escenarios de 1000 a 2000 clientes, estos últimos no aplican a provincias por no ser objetivo, alcance ni cobertura del presente estudio.

En la TABLA 5.16 se muestra la evaluación para implementación de red de acceso de TOs en provincias para los escenarios específicos de 100 y 500 clientes. Se observa que para el caso de 100 clientes el proyecto tiene una relación B/C < 1 y VAN < 0 por lo que no es rentable. No debiendo discriminar este escenario, se requiere necesariamente para este caso particular el apoyo de financiamiento de FITEL para la implementación como para la posterior operación y mantenimiento.

EVALUACION ECONOMICA (TIR, VAN) IMPLEMENTACION RED DE ACCESO TO PROVINCIAS						
Caso Provincias 100 Usuarios						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Inversion	**50196.36**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ingresos Servicios		11320.75	22641.51	22641.51	22641.51	22641.51
Pagos Recursivos		5778.76	5778.76	5778.76	5778.76	5778.76
Pago por uso Internet		3750.00	7500.00	7500.00	7500.00	7500.00
O&M (Gastos)		2264.15	4528.30	4528.30	4528.30	4528.30
Flujo de Caja	-50196.36	-472.16	4834.45	4834.45	4834.45	4834.45

Período	*Flujo de Fondos*		
0	-50196.36	Evaluación para 100 Usuarios Provincias	**TIR**
1	-472.16		**VAN** **$ -36,694.20**
2	4834.45		r=10
3	4834.45		TIR < r
4	4834.45		VAN < 0 NO RENTABLE
5	4834.45		Recuperación > 12 Años
			(Financiamiento FITEL)

Caso Provincias 500 Usuarios						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Inversion	**53896.36**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ingresos Servicios		67924.53	113207.55	113207.55	113207.55	113207.55
Pagos Recursivos		5778.76	5778.76	5778.76	5778.76	5778.76
Pago por uso Internet		22500.00	37500.00	37500.00	37500.00	37500.00
O&M (Gastos)		13584.91	22641.51	22641.51	22641.51	22641.51
Flujo de Caja	-53896.36	26060.86	47287.28	47287.28	47287.28	47287.28

Período	*Flujo de Fondos*		
0	**-53896.36**	Evaluación para 500 Usuarios Provincias	**TIR** **65.05%**
1	26060.86		**VAN** **$ 159,959.24**
2	47287.28		r=10 r=16 TIR > r
3	47287.28		VAN > 0 RENTABLE
4	47287.28		Recuperable en 1,6 Años
5	47287.28		**TIR** **65.05%**
			VAN **$ 82,637.43**

TABLA 5.16 EVALUACIÓN RED DE ACCESO TO PROVINCIAS
(Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto de los ejercicios realizados de sensibilidad se verifica que la inversión de implementación del modelo hasta 400 clientes en provincias no es atractiva, por lo que para poder atender esos escenarios se ratifica la participación activa de los organismos del Estado o entidades internacionales de apoyo a países en desarrollo para el financiamiento pre y post implementación.

Adicionalmente en la TABLA 5.17 se muestra la evaluación para implementaciones en sectores o localidades específicas en Lima Metropolitana para 1000 y 2000 clientes.

EVALUACION ECONOMICA (TIR, VAN) IMPLEMENTACION RED DE ACCESO TO LIMA

Caso Lima 1000 Usuarios

Periodo	0	1	2	3	4	5
Inversion	**56527,89**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ingresos Servicios		79245,28	158490,57	226415,09	226415,09	226415,09
Pagos Recursivos		2749,12	2749,12	2749,12	2749,12	2749,12
Pago por uso Internet		26250,00	52500,00	75000,00	75000,00	75000,00
O&M (Gastos)		15849,06	31698,11	45283,02	45283,02	45283,02
Flujo de Caja	-56527,89	34397,11	71543,34	103382,96	103382,96	103382,96

Período	*Flujo de Fondos*			
0	-56527,89	Evaluación para 1000 Usuarios Lima	**TIR**	**101,78%**
1	34397,11		**VAN**	**$ 246.346,73**
2	71543,34		r=10 r=16	TIR > r
3	103382,96		VAN > 0	RENTABLE
4	103382,96		Recuperable en 1,4 Años	
5	103382,96		**TIR**	**101,78%**
			VAN	**$ 198.845,70**

Caso Lima 2000 Usuarios

Periodo	0	1	2	3	4	5
Inversion	**67902,89**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ingresos Servicios		169811,32	339622,64	452830,19	452830,19	452830,19
Pagos Recursivos		2749,12	2749,12	2749,12	2749,12	2749,12
Pago por uso Internet		56250,00	112500,00	150000,00	150000,00	150000,00
O&M (Gastos)		33962,26	67924,53	90566,04	90566,04	90566,04
Flujo de Caja	-67902,89	76849,94	156449,00	209515,04	209515,04	209515,04

Período	*Flujo de Fondos*			
0	-67902,89	Evaluación para 2000 Usuarios Lima	**TIR**	**165,98%**
1	76849,94		**VAN**	**$ 561.863,08**
2	156449,00		r=10 r=16	TIR > r
3	209515,04		VAN > 0	RENTABLE
4	209515,04		Recuperable en 1 año	
5	209515,04		**TIR**	**165,98%**
			VAN	**$ 464.307,69**

TABLA 5.17 EVALUACIÓN RED DE ACCESO TO LIMA
(Fuente: Elaboración propia)

Se observa que para casos de 1000 y 2000 clientes, el proyecto es rentable y atractivo, infiriéndose que a mayor cantidad de clientes se obtiene más rentabilidad.

Si bien el objetivo principal del estudio no ha sido focalizarse en Lima Metropolitana, cabe indicar que debido a que a igual número de clientes, los costos de pagos únicos por interconexión y los pagos recurrentes mensuales, son menores que en provincias, de los ejercicios de sensibilidad realizados se valida que este modelo es rentable en Lima Metropolitana a partir de los 300 clientes.

Se precisa que las inversiones estimadas para PoPs en Lima Metropolitana están consideradas para soportar hasta 5000 clientes, para más de 5000 se tiene que revisar las inversiones para ampliación del agregador y controlador Wi-Fi.

Finalmente cabe comentar que en una evaluación económica para proyectos de telecomunicaciones que tienen la naturaleza de ser un instrumento de integración y cohesión social, se debe tener en cuenta no solo el aspecto de rentabilidad del capital invertido si no también la evidencia de estudios sobre el papel de los servicios de telecomunicaciones en la "actividad económica" que señala que el uso de los servicios de telecomunicación constituye una vía eficiente en la reducción de costos de transacción para el desarrollo de un centro poblado, en este caso particular proporcionando un medio eficiente para hacer llegar servicios sociales, entre otros tales como la salud a zonas rurales.

Teniendo en cuenta lo indicado se debe propiciar activamente la participación financiera del estado para el logro del financiamiento a fin de satisfacer las necesidades de acceso de BA de los sectores mencionados, siendo así se plantea dentro de este contexto el uso del Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL), creado por el gobierno con el objetivo de financiar proyectos de inversión en telecomunicación en lugares declarados de preferente interés social (ver ANEXO K).

Por otro lado, dado la regulación vigente de competitividad y que las nuevas tecnologías de acceso a la BA hoy en día están bajando sustantivamente de precios, se debe prever que OSIPTEL debe realizar una reformulación de las tarifas actuales a corto plazo, en ese sentido los TOs con visión en el ámbito social que se adelanten en implementar este proyecto irán ganando el mercado potencial existente pudiendo incrementar su costo de oportunidad, en ese sentido a la rentabilidad beneficio/costo obtenida del proyecto se le debe agregar el beneficio socio-económico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir con este trabajo de tesis, estas secciones finales presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del estudio de desarrollo de este proyecto, lo cual nos permite mostrar los beneficios obtenidos.

Conclusiones

- Se ha conseguido proponer un modelo de solución para acceso a servicios IP en BA para zonas de desarrollo en provincias para la entrada de un TO.
- Adicionalmente se ha validado que el modelo propuesto es aplicable también a Lima Metropolitana para zonas emergentes y localidades específicas.
- Del análisis de las alternativas estudiadas se observa que no es lo ideal conceptualizar un modelo de red ya sea solo en capa 2 (L2) o solo en capa 3 (L3), hoy en día con las exigencias de los nuevos servicios se hace necesario combinar funcionalidades de L2 y L3 en los tramos tanto de acceso como transporte de la red, lo cual se hace posible con la llegada de equipos multiprotocolos y multicapa (p.e.: L2, L3 y L4) que permiten explotar mayores funcionalidades y brindar mejores beneficios.
- La opción seleccionada del modelo de la alternativa 3, que utiliza SWs de capa L2/L3/L4 como NB, permite una mayor perfomance para el manejo de VPN L2 - VPN *routing and forwarding (Layer 2 forwarding protocol*) - VRFs, sobre todo en los aspectos de escalabilidad, disponibilidad, seguridad y gestión.
- Se demuestra una mejora de QoS al plantear el mapeo de los servicios por PVCs independientemente por servicio y no por un solo PVC que comparte todos los servicios (como es actualmente en TdP), con lo cual se mejora la disponibilidad y facilita la gestión ya que se manejan por VLANs separadas y diferenciadas para los servicios de voz, datos y video.
- Se valida que al aplicarse la marcación de paquetes a la entrada con DSCP con categoría *Premium,* valor (46) y configuración VPN-VRF en el *core*, en las llamadas de VoIP hechas sobre un escenario con QoS la calidad de servicio se mejora notoriamente en relación a las llamadas realizadas en un escenario sin QoS, en *best effort* y sin configuración de VPN-VRF en el *core*, así mismo se valida que a mayor ancho de banda la calidad de la voz aumenta relativamente

- Se ha validado la interoperabilidad del acceso ADSL en DSLAM ethernet con la red IP/MPLS de TdP y la red del TO extremo a extremo.
- Se logró establecer la detección rápida de un corte de línea mediante la implementación del protocolo eBGP para detección temprana de fallos en la última milla, lo cual otorga resilencia al modelo al permitir una capacidad de reacción rápida para la recuperación de fallas manteniendo el nivel óptimo del servicio de cara al usuario final.
- Se ha conseguido proponer y validar que el NB utilice PPPoE en L2 hacia los agregadores BRAS/NISIP y desde el agregador hacia el NB se utilice VRF en L3 con lo que se obtiene una conectividad segura e independiente para cada TO, esto se logra al hacer que la capacidad de *hardware* que añade el NB asuma la interacción entre el nodo de concentración SWC y los agregadores, con lo cual se logra obtener mayor escalabilidad y disponibilidad de los recursos de red de agregación.
- Se demostró la factibilidad técnico-económica de la implantación del modelo propuesto para servicios de VoIP, datos, Internet y video en las 34 localidades seleccionadas, pudiendo aplicar también en otras localidades de provincias con caracterización similar.
- Adicionalmente se verificó la factibilidad técnico-económica del modelo también en localidades emergentes de Lima Metropolitana con características similares a las zonas de provincia evaluadas.
- Se verificó que la inversión para implementación del modelo en Provincias no son rentables para una cantidad de 100 hasta 400 clientes, recomendándose para estos casos el financiamiento de FITEL para la inversión inicial, operación y mantenimiento.
- Se demostró que los costos de implementación del servicio en provincias son rentables a partir de una cantidad de 500 clientes.
- Se validó que la inversión de implementación del modelo en Lima Metropolitana es rentable a partir de una cantidad de 300 clientes y considerablemente atractivo a partir de 2000 clientes donde se recupera la inversión en tan solo un año.
- El modelo propuesto permite abaratar los costos para facilitar que TOs ingresen al mercado de telecomunicaciones.
- Con la implantación de la red se logra una vía eficiente para la reducción de costos de transacción, constituyéndose en un beneficio socio-económico que impacta directamente en el desarrollo de los centros poblados seleccionados, esto debido a

que en la “actividad económica” las telecomunicaciones tienen la naturaleza de ser un instrumento de integración y cohesión social.

- Se ha conseguido aportar con el presente trabajo información relevante para impulsar el desarrollo de las telecomunicaciones en BA a nivel nacional.

Recomendaciones

- Sugerir la implementación de enlaces de respaldo en L2 entre el NB y los agregadores dado que los esquemas de seguridad y alta disponibilidad con VRRP (*Virtual Router Redundancy Protocol*) o HSRP (*Hot Standby Router Protocol*) se deben implementar mandatoriamente en todos los routers de agregación y RB de TdP.
- Utilizar el NB como concentrador de agregadores en L3 para descongestionar el acceso a los routers de núcleo IP de esta tarea de concentración, de esta manera se logra una mayor disponibilidad y escalabilidad en el *backbone*.
- Implementar las políticas de QoS propuestas en el presente estudio, para los nodos de distribución SWD, nodos de concentración SWC, nodos de borde y nodos de núcleo IP (Core IP o *Backbone*), tanto para los tráficos de salida como los tráficos de entrada en todos los niveles de la red.
- Sugerir la implementación de la evolución propuesta de esquemas de VLL (*Virtual Leased Link*) en VPN L2 *point-multipoint* y VPN L2 *point-multicast* en el transporte de servicios de Internet y datos para una mayor seguridad y escalabilidad en la red Metro Ethernet de TdP.
- Implementar a mediano plazo la evolución adicional propuesta para mejorar las funcionalidades propuestas del modelo de red desarrollado, consistente en el manejo de VPLS (*Virtual Private LAN Service*) jerárquico en el anillo ME (SWD y SWC), manejo de VSI (*Virtual Switch Instance*) o VRFs *lite* para los servicios de voz y video.
- Solicitar a TdP permita brindar el uso de su plataforma SLA como un servicio al TO para medir la QoE y evaluar el SLA y QoS del servicio a brindar por el TO.
- Solicitar a TdP permita ofrecer el uso de su plataforma SirADSL (Sistema de información de red ADSL) como un servicio al TO para la post-provisión (altas, bajas, cortes, cambios de parámetros) de los servicios a ser ofrecidos por el TO.
- Usar el modelo de acceso WLAN/WiFi como acceso de última milla para abaratar costos de inversión.
- Propiciar la implementación de este modelo de interconexión, en las localidades que sean caracterizadas con los lineamientos dados para la participación de TOs.

- Solicitar al regulador OSIPTEL que revise el actual esquema tarifario y baje las tarifas de entrada para que TOs compitan y brinden a nivel nacional el servicio de acceso en BA.
- Sugerir a TdP la revisión de sus costos de implementación de infraestructura para TOs, con uso de tecnología moderna con miras a reducir precios, los mismos que permitirán realizar ajustes en la evaluación económica para una mayor precisión de la rentabilidad.
- Solicitar a los organismos correspondientes la revisión del marco legal en cuanto al estado de la regulación de nuevas tarifas para el ingreso de TO en Lima metropolitana y provincias a nivel nacional.
- Sugerir al MTC o Vice Ministerio de Trasportes y Comunicaciones se establezca una normativa legal que permita poder obtener libremente información de tarifas para constituirse en TO vía el uso de infraestructura de un operador dominante, sin necesidad de contar con licencia de operador.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

2G/3G/4G : Segunda Generación/Tercera Generación/Cuarta Generación
3-Play : Servicios de Voz, audio y vídeo
AAA : Authentication, Authorization and Accounting
AAL1 : ATM Adaptation Layer type-1
AAL2 : ATM Adaptation Layer type-2
AAL5 : ATM Adaptation Layer type-5
ADSL : Symmetrical Digital Subscriber Line
ADSL2+ : Asymmetrical Digital Subscriber Line Two Plus
ARS : Address Resolution Server
AS : Autonomous System
ATIS : Advanced Telecommunication Integrated System
ATM : Asynchronous Transfer Mode
AToM : Any Transport over MPLS
ATA : Analogue Terminal Adapter
BA : Banda Ancha
BAM : Banda Ancha Móvil
BB : Broadband (Banda ancha)
BE : Banda Estrecha
BGP : Border Gateway Protocol
BPS : Bits por Segundo
BRAS : Broad Band Remote Access Server
BW : Bandwidth (Ancho de banda)
CBS : Commited Burst Size
CE : Customer Equipment
CHAP : Challenge Handshake Authentication Protocol
CIR : Commited Information Rate
CLI : Comandos de Línea
CoS : Class of Service
CPE : Customer Premises Equipment
CSMA/CD : Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CTL3 : Cut-trough Level 3

DIAMETER : (Protocolo de validación AAA que no tiene definición como siglas)
DiffServ : Servicios Diferenciados
DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol
DNS : Domain Name Service
DSCP : DiffServ Code Points
DSLAM : Digital Subscriber Loop Access Multiplexer
DPI : Deep Packet Inspection
DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing
EAP : Extensible Authentication Protocol
EB : Estación Base
EBS : Excess Burst Size
ECP : Evolved Packet Core
EIR : Excess Information Rate
EVC : Ethernet Virtual Circuit
FEC : Forwarding Equivalence Class
FIB : Forwarding Information Base
FITEL : Fondo de Inversión de Telecomunicaciones
FR : Frame Relay
FTP : File Transfer Protocol
FTTX : Fibre To The -near the customer (Fiber to the - x)
GARP : Generic Attribute Registration Protocol
GBPS : Giga Bits por Segundo
GC : Signaling Gateway
GE : Giga Ethernet
GK : GateKeeper
GPRS : General packet radio service
GSM : Global System for Mobile Communications
GSR : Giga Switch Router
G.SHDSL : Symmetrical –High Speed - Digital Subscriber Line - Standard G991.2
GVRP : GARP VLAN Registration Protocol
GW : GateWay
H.323 : (Protocolo para control de comunicaciones multimedia basadas en IP)
HD : High Definition
HDLC : High-Level Data Link Control
HDSL : High bit rate Digital Subscriber Line
HSRP : Hot Standby Router Protocol

HTTP : Hypertext Transfer Protocol
IAD : Integrated Access Device
ICPIF : Impairment Calculated Planning Impairment Factor
IGP : Internal Gateway Protocol
IP : Internet Protocol
ISDN : Integrated Services Digital Network
ISP : Internet Service Provider
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF : Internet Engineering Task Force
IMS : Multimedia Subsystem
IPSec : Internet Protocol security
ISDN : Integrated Services Digital Network
IS-IS : Intermediate System to Intermediate System
IWF : Inter working function
JDS : Jerarquía Digital Síncrona
KBPS : Kilo Bits por Segundo
ITU-T : International Telecommunication Union -Telecommunication
L2TP : Layer 2 Tunneling Protocol
L2/L3/L4 : Capa 2, 3 y 4
LAN : Local Area Network
LDAP : Lightweight Directory Access Protocol
LDP : Label Distribution protocol
LLC : Logical Link Control
LSP : Label Switched Path
LSR : Label Switched Router
LTE : Long Term Evolution
MAC : Media Access Control
MBPS : Mega Bits por Segundo
ME : Metro Ethernet
MGW : Media Gate Way
MOS : Mean Opinion Score
MPLS : Multiprotocol Label Switching
MSTP : Multiple Spanning tree protocol
MTC : Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MTS : Módulo de Transporte Síncrono
NGN : Next Generation Network

NB : Nodo de Borde (SW de capa 1, 2, 3 y 4)
NISIP : Nodo de Implementación de Servicios IP
NVoD : Near Video on Demand
OSIPTEL : Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones
OSPF : Open Shortest Path First
O&M : Operación y Mantenimiento
PAP : Password Authentication Protocol
PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy
PDS : Procesamiento Digital de Señales
PdP : Punto de Presencia
PE : Provider Edge
PENg : Provider Edge Next generation
PON : Passive Optical Network
PoP : Point of Presence
POS : Point of Sale
PPP : Point-to-point Protocol
PPPoA : Point-to-Point Protocol over ATM
PPPoE : Point-to-Point Protocol over Ethernet
PPV : Pay Per View
PRI : Primary Rate Interface
PSI : Proveedor de Servicio Internet
PVC : Private Virtual Circuit
PSTN : Public Switching Telephony Network
QoS : Quality of Service
QoE : Quality of Experience
RADIUS : Remote Authentication Dialling In User Service
RB : Router de Borde
RBE : Router Bridge Encapsulation
RC : Router de Concentración
RD : Route Distinguiser
RDSI : Red Digital de Servicios Integrados
RFC : Request for Comments
RI : Red Inteligente
RIP : Routing Information Protocol
RSVP : Resource Reservation Protocol
RSTP : Rapid Spanning Tree Protocol

RT : Router Taget
RTB : Red de Telefonía Básica
RTC : Red Troncal Conmutada
SA : Servidor de Acceso
SBC : Session Border Controller
SCCP : Skinny Call Control Protocol
SD : Switch de Distribución
SDH : Synchronous Digital Hierarchy
SDSL : Symmetrical -single pair- Digital Subscriber Line
SDVB : Switched Digital Video Broadcasting
SIGTRAM : Señalización de Transporte (Evolución SS7)
SIP : Session Initiation Protocol
SirADSL : Sistema Información de Red ADSL
SLA : Service Level Agreement
SMTP : Simple Mail Transfer Protocol
SS : Soft Switch
SS7 : Sistema de señalización por canal común n.º 7 (usado en PTSN)
STM : Synchronous Transport Module
STP : Spanning Tree Protocol
SPF : Small form-factor Pluggable Transceiver
SSH : Secure SHell protocol
SVC : Switched Virtual Circuit
SVI : Switch Virtual Interfaces
S-VLAN : Stack - Virtual Local Area Network
SWC : Switch de Concentración
SWD : Switch de Distribución
RSTP : Rapid STP
SWC : Switch de Concentración
TCP : Transmission Control Protocol
TDM : Time Division Multiplexer
TdP : Telefónica del Perú S.A.A.
TIR : Tasa Interna de Retorno
TLO : Terminación de Línea Óptica
ToC : Test of Concept
TOs : Terceros Operadores
TOS : Type of Service

TR : Terminación de Red

TRO : Terminación de Red Óptica

TTL : Time to Live

PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy

PPL3 : Packet by Packet Level 3

PYMES : Pequeñas y Medianas Empresas

UDP : User Datagram Protocol

USB : Universal Serial Bus

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

UNI : Unit Network Interface

URD : Unidad Remota Digital

VAN : Valor Actual Neto

VC : Virtual Circuit

VCI : Virtual Channel Identifier

VDSL : Very high bit rate Digital Subscriber Line

VLAN : Virtual Local Area Network

VLL : Virtual Leased Line

VPI : Virtual Path Identifier

VPLS : Virtual Private LAN Service

VPWS : Virtual Private Wire Service

VRF : VPN routing and forwarding (Layer 2 forwarding protocol)
Virtual Routing & Forwarding (Layer 3)

VRRP : Virtual Router Redundancy Protocol

VDA : Vendor-Specific Attribute

VSI : Virtual Switch Instance

VoD : Video on Demand

VPN : Virtual Private Network

WAN : Wide Area Network

WEB : (Comúnmente referida a la www)

WEP : Wired Equivalent Privacy

Wi-Fi : (Marca de la WiFi Alliance, anteriormente WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance)

WLAN : Wireless Local Area Network

WPA : Wi-Fi Protected Access

WWW : World Wide Web

xDSL : digital Subscriber Line Family

BIBLIOGRAFÍA

[1] **Behrouz A. Forouzan, Sophia Chung Fegan and Huga Media**, (2 007), Data Communications and Networking, Fourth edition, USA, Mc Graw-Hill Networking series, PP 1164.

[2] **Behrouz Forouzan**, (2 009), TCP/IP Protocol Suit, Fourth edition, USA, McGraw-Hill Forouzan Networking Series, PP 988.

[3] **Charles M. Kozierok**, (2 005), The TCP/IP Guide: A Comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference, USA, Published by No Starch Press, [Fecha de acceso 28 de Marzo de 2 013], URL disponible en: http://www.amazon.com/TCP-Guide-Comprehensive-Illustrated-Protocols-ebook/dp/B008G30T7W

[4] **Chris Hellberg, Dylan Greene and Truman Boyes**, (2 007), Broadband Network Architectures - Designing and Deploying Triple-Play Services, USA, Prentice Hall Perason Education, PP 558.

[5] **Eldad Perahia and Robert Stacey**, (2 008), Next Generation Wireless LANs - Throughput, Robustness and Reliability in 802.11n, First edition, USA, Cambridge University Press, PP 385.

[6] **Federico Álvarez et al. (Eds.),** (2 012), The Future Internet - Future Internet Assembly 2012: From Promises to Reality, USA, Springer, PP 252.

[7] **Luc de Ghein**, (2 006), MPLS Fundamentals, USA, Cisco Systems Inc., [Fecha de acceso 15 de Abril de 2 014], URL disponible en: http://www.amazon.com/MPLS-Fundamentals-Luc-Ghein/dp/1587051974/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=14201 79461 &sr=8-1&keywords=mpls+fundamental

[8] **Milorad Cvijetic and Ivan B. Djordjevic**, (2 013), Advanced Optical Communication Systems and Networks, USA, Artech House Publishers, [Fecha de acceso 30 de Noviembre de 2 013], URL disponible en: http://www.amazon.com/reader/1608075559?encoding=UTF8&page=27

[9] **Sasan Adibi, Raj Jain, Shyam Parekh, and Tom Tofigh**, (2 010), Quality of Service Architectures for Wireless Networks - Performance Metrics and Management, USA, Published by Information Science Reference, [Fecha de acceso 15 de Agosto de 2014], URL disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=YUyswy1Q19kC&pg=PA662&lpg=PA662&dq=Sasan+Adibi,+Raj+Jain+Shyam+Parekh,+and+Tom+Tofigh,+%282+010%29,+Quality+of+Service+Architectures+for+Wireless+Networks+-Performance+Metrics

+and+Management&source=bl&ots=KONJ2qCYOd&sig=i5yqsHw1jghYD-FogYuAdTmTo70&hl=es&sa=X&ei=XzumVN3LLoLngwStvoHoBA&ved=0CFMQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false

[10] **John R. Vacca**, (2 013), Network and System Security , Second Edition, USA, **Syngress,** PP 368.

[11]**Andrew S. Tanenbaum and David J. Wetherall** (2 010), Computer Networks, Fifth edition, USA, Hardcover, PP 960.

[12] **Tim Szigeti and Christina Hattingh**, (2 004), End-to-End QoS Network Design: Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs, Second Edition, USA, Cisco Systems Inc., PP 993.

[13] **Vinod Joseph and Brett Chapman**, (2 009), Deploying QoS for Cisco IP and Next-Generation Networks - The Definitive Guide, USA, Morgan Kaufmann, [Fecha de acceso 10 de Julio de 2 014], URL disponible en: https://boks.google.com.pe/books?id=bMKFYMql8uoC&pg=PR4&dq=Vinod+Joseph+and+Brett+Chapman,+%282+009%29,+Deploying+QoS+for+Cisco+IP+and+Next-Generation+Networks+-+The+Definitive+Guide&hl=es&sa=X&ei=9NOmVPrdFIHUgwS63oGACQ&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q&f=false

[14] **Vinod Joseph and Srinivas Mulugu**, (2 011), Deploying Next Generation Multicast-enabled Applications - Label Switched Multicast for MPLS VPNs, VPLS, and Wholesale Ethernet, USA, Morgan Kaufmann, [Fecha de acceso 20 de Setiembre de 2 014], URL disponible en: http://books.google.com.pe/books/about/Deploying_Next_Generation_Multicast_enab.html?id=0rfB_4Ad3s4C&redir_esc=y

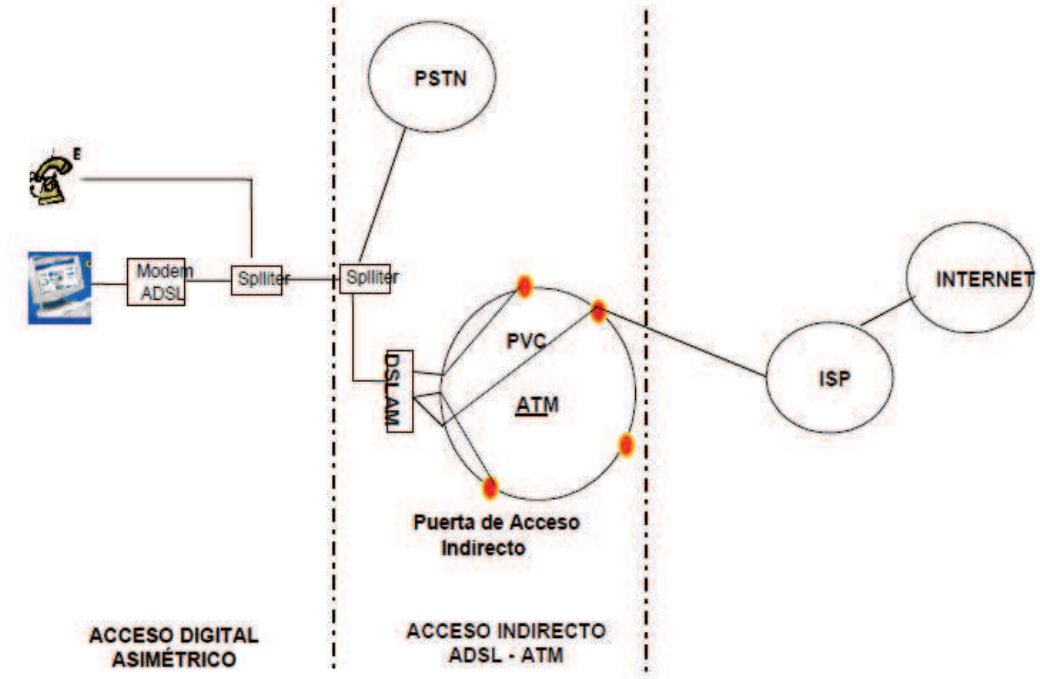
[15] **Zhuo (Frank) Xu**, (2 010), Designing and implementing IP/MPLS-Based Ethernet Layer 2 VPN Services - An Advance Guide for VPLS and VLL - Alcatel-Lucent SRA No. 1, USA, Wiley Publishing Inc., PP 955.

ANEXOS

ANEXO A
ESTRUCTURA ATM - ADSL PARA CALCULO DE TARIFA

Gráfico N° A.1

Estructura de la Prestación de Servicios ATM-ADSL



Elaboración: Gerencia de Políticas Regulatorias.

Fuente: Informe OSIPTEL 110 GPR-2008

ANEXO B
TARIFAS PARA TO - RES. PRES. Nº 039-2008-PD/OSIPTEL

Artículo 1º.- Las prestaciones de transmisión de datos mediante circuitos virtuales ATM con acceso ADSL, provistas por Telefónica del Perú S.A.A., están sujetas a tarifas tope –máximas fijas-, según el siguiente detalle:

(i) Tarifas de Instalación (pagos por única vez):

Concepto	US$ (sin IGV)
Instalación del acceso ADSL(1)	8.11
Configuración de circuito virtual ATM para acceso ADSL	8.11

(1) Incluye: Conexión, programación y activación del servicio, e instalación del spliter.

Concepto	US$ (sin IGV)
Habilitación de puerta ATM y configuración de interfaz UNI a E3 (34 Mbps)(2)	2 648,00
Habilitación de puerta ATM y configuración de interfaz UNI a STM-1 (155 Mbps)(2)	2 648,00

(2) Las puertas ATM, ubicadas en puntos de presencia, concentrarán el tráfico de usuarios de Acceso Digital Asimétrico correspondientes a determinadas áreas servidas. Estos puntos de presencia serán tres y estarán ubicados en: Lima, Arequipa y Trujillo. Los departamentos que serán atendidos por estos puntos de presencia serán:

a. Punto de Presencia ubicado en Arequipa: Atenderá los departamentos de Cusco, Arequipa, Moquegua, Madre de Dios, Puno y Tacna.

b. Punto de Presencia ubicado en Trujillo: Atenderá los departamentos de Amazonas, Ancash, Cajamarca, Lambayeque, Piura, San Martín, La Libertad y Tumbes.

c. Puntos de Presencia ubicados en Lima: Atenderán los departamentos de Lima -incluyendo la Provincia Constitucional del Callao-, Ica, Apurimac, Ayacucho, Huancavelica, Junín, Pasco, Huánuco, Loreto y Ucayali. En este caso, si bien se han definido cuatro conmutadores ATM (San Isidro, Miraflores, Monterrico y Washington), bastará conectarse sólo con uno de ellos para tener acceso a los departamentos indicados.

(ii) Tarifas Mensuales (por velocidad):

Velocidad (kbps)	Por el acceso ADSL (3) US$ (sin IGV)	Por el circuito virtual ATM US$ (sin IGV)
200 / 128	6.18	6.18
400 / 128	7.23	7.23
600 / 256	8.80	8.80
900 / 256	11.85	11.85
1200 / 256	14.14	14.14
2048 / 512	20.61	20.61

(3) Incluye: Utilización y mantenimiento del servicio y del splitter.

Por puerta ATM (4) US$ (sin IGV)	
E3	2 444,31
STM-1	4,888.62

(4) No incluye el enlace hacia el local de la empresa prestadora, el cual puede ser provisto por Telefónica del Perú S.A.A. o por cualquier otra empresa concesionaria del servicio portador.

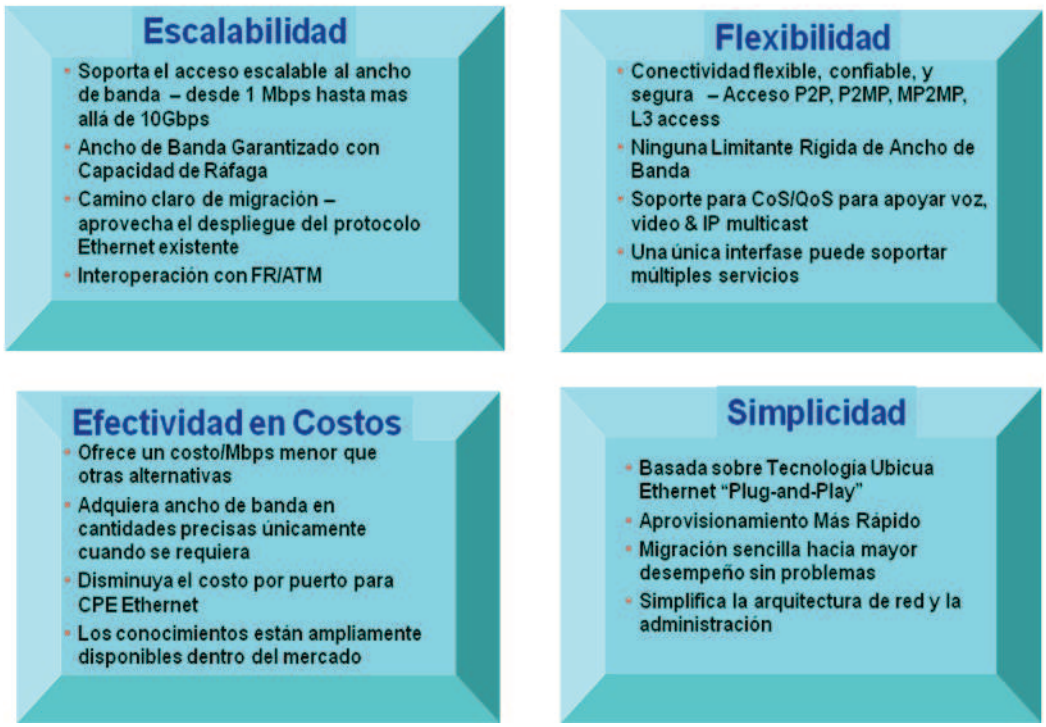
Fuente: Resolución Presidencial Nº 039-2008-PD/OSIPTEL

ANEXO C
COMPARACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET SOBRE ATM

Resumen comparativo Ethernet vs ATM

	Ethernet	ATM
Escalabilidad	10M a 10G	1.5M a 622M
QoS	Soportado	Si
Flexibilidad del Servicio	Alta	Baja
Eficiencia del Protocolo	Alta	Baja
Optimizado para IP	Si	No
Aprovisionamiento	Rápido	Lento
CPE: Costo por Puerto	$	$$$
Costo Mb	$	$$$

Resumen de Valores Conectividad Metro Ethernet



Fuente: Metro Ethernet *Forum*

ANEXO D
CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DSL

Resumen Comparativo de Prestaciones DSL

Tecnología	Descripción	Ancho de banda (Mbps);Modulacion	Distancia; Modo	Aplicaciones
IDSL	Línea de Abonado Digital ISDN	128/128 kbps ; 2B1Q	5.5 Km.; Simétrico	Similar a RDSI básico, pero sólo para datos (no canal voz en la misma línea)
SHDSL/ G.SHDSL	Línea de Abonado Digital Simétrica de alta Velocidad	0.192-2.3 Mbps;2B1Q	2 Km. Máx. velocidad; Simétrico	LAN, WAN y acceso a servidores.
VDSL	Línea de Abonado Digital de muy alta Velocidad	26-52 Mbps; CAP, DMT	300 m. A máx. Velocidad ; Simétrico o Asimétrico	Como ADSL, además de HDTV
ADSL G.lite	Línea de Abonado Digital Asimetrica sin microfiltro	1.544-6 Mbps; DMT	5.5 Km.; Asimétrico	Acceso Internet; Sacrifica velocidad por no instalar microfiltros.
HDSL	Línea de Abonado Digital de alta Velocidad	1.544-duplex (T1), 2.048-duplex (E1) entre 1-3 pares; 2B1Q/CAP	5-4.5 Km; Simétrico	Acceso al servicio T1/E1. Agregación trafico Frame Relay, extensión de LAN's
SDSL	Línea de Abonado Digital Simétrica	1.544 (T1) full duplex, 2.048 (E1) full duplex, utilizando un par; TC-PAM (4B1H)	2-5 Km.;Simétrico	Similares a HDSL, servicios interactivos y acceso a servidores
ADSL	Línea de Abonado Digital Asimétrica	1.544-6.1 Mbps/ 16-640 Kbps; DMT	1.544 a 5 Km. 2.048 a 4.5 Km.; 6.312 a 3.5 Km.;8.448 a 2 Km.; Asimétrico	Acceso Internet, video bajo demanda, acceso a LAN, multimedia interactivo y servicios telefónicos clásicos.
RADSL	Línea de Abonado Digital de Tasa Adaptable	De 1.5-6/8 Mbps /64-640 Kbps;CAP	Se ajusta de forma dinámica a las condiciones de la línea y a la longitud dela misma	Espectralmente Compatible con la voz y otras tecnologías DSL sin el bucle local .Video bajo demanda, acceso a Internet y video simplex.
ADSL2	Línea de Abonado Digital Asimétrica	De 12 Mbps/1,0Mbps Kbps; QAM	1-1,15 km 12 Mbps 1.544 a 5 Km Asimétrico	Acceso Internet, video bajo demanda, acceso a LAN, multimedia interactivo y servicios telefónicos.
ADSL2+	Línea de Abonado Digital Asimétrica	De 24 Mbps/1,2Mbps Kbps; QAM	1-1,15 km 24 Mbps 1.544 a 5 Km Asimétrico	Acceso Internet, video bajo demanda, acceso a LAN, multimedia interactivo y servicios avanzados

Fuente: ADSL *Forum*

ANEXO E
BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA INALÁMBRICA WI-FI

Acceso Ultima Milla
Resumen WIFI / WIMAX

	WIFI	WIMAX
Significado	Wireless Fidelity	World Interoperability for Microwave Access
Norma IEEE	802.11	802.16
Velocidades	54 Mbs	70 Mbs
Covertura	2.4 a 5 Ghz	2 a 11 Ghz

WIFI vs WIMAX

- La soluciones WiFi de exteriores han sido evaluadas, probadas y medidas en numerosos entornos con acierto, estabilidad y escalabilidad, con una mayor profundidad que el WiMax que aún requiere de mayor penetración en el mercado.
- Existen pocas redes plenamente comerciales WiMax en funcionamiento abierto.
- Las estaciones base WiFi y los dispositivos de usuario final, son mucho más que los equipos WiMAX, derivados de un estado de evolución de la tecnología.
- WiMax aún no está plenamente incorporada en los dispositivos de consumo. WiFi se ha expandido rápidamente a más dispositivos móviles tales como los los nuevos iPods, Smartphones y muchos tags de localización.
- WiMax está controlado por las grandes empresas de electrónica como Motorola, Intel y Alvarion. WIFI es una tecnología no controlada y abierta
- WiMax requiere despliegues en entorno urbano en modo non-line-of sight, lo que implica un número de puntos de acceso superior al equivalente para Wifi.
- Hay mucho menos del espectro de frecuencias disponibles para WiMax que para WiFi en la banda ISM. El espectro de frecuencias para wimax (3,5 Ghz) está mucho más regulado por los gobiernos al ser frecuencias de pago no liberalizadas, y sólo a la disposición de un reducido número de operadores de telecomunicaciones.
- El nuevo estándar Wi-Fi 802.11n tiene una mejor tasa de transmisión de datos que WiMax a pesar de trabajar en una zona libre del espectro.
- Los despliegues de WiMax existentes han demostrado que el modelo de negocio de WiFi es mas ventajoso que el modelo de WiMax.
- Históricamente los grandes operadores siempre han tratado de desplegar tecnologías de acceso basadas en estándares abiertos para evitar la concentración de poder de los proveedores.

Fuente: Wi-Fi *Forum*

ANEXO F
REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y FUNCIONALIDADES DE NB

Generalidades

- Switch L2/L3 (NB), ejerciendo funcionalidades de router de borde de red IP, concentrador de red Metro y opcionalmente L7 como switch eventual de cache, L7 es para interoperatividad con el cache y permitir aplicaciones de acceso a servicios de otras capas para datos, email, SMTP, gestores de bases de datos y FTP, DNS por UDP.
- Anillos/Mallas en GE para backbone MPLS.
- Interfaces GEpara conexión con rede IP.
- Interfaces GE para terminación de los anillos de distribución y conexión con NISIP y eventualmente un Cache.

Gestión: Hardware y Software- Características comunes

- Debe soportar la configuración de hasta 16 anillos por nodo de borde.
- Un Nodo de Borde debe manejar hasta 128,000 clientes del servicio Internet ADSL, 12.800 clientes de servicio de video e 500 clientes del servicio de Transparent LAN Service.
- Interoperabilidad entre Nodos de Borde y Switches de Distribución de diferentes fabricantes.
- Interoperabilidad con la Red IP (ERX 1410, ERX 1440, T-320, M40e, E120, etc.)
- Matriz de conmutación "non blocking"
- Procesadora redundante.
- Fuente DC redundante.
- Para la protección de hardware, los anillos de acceso deben terminar en slots distintos del Nodo de Borde
- Interfaces Mínimas:
  - 1 Tarjeta 10/100/1000, con un mínimo de 48 puertos por tarjeta.
  - 2 Tarjetas GE, con un mínimo de 12 puertos GE por tarjeta.
  - 4 Tarjetas 10GE, con un mínimo de 2 puertos 10GE por tarjeta.
  - 1 Tarjeta STM-4, con mínimo de 4 puertos STM-4 POS por tarjeta
- 4 Tarjetas 10GE, con un mínimo de 2 puertos 10GE por tarjeta.
- 1 Tarjeta STM-4, con mínimo de 4 puertos STM-4 POS por tarjeta.

Funcionalidades

- VLAN (802.1q)
- VLAN Stacking
- Rapid Reconf. Spanning Tree (IEEE 802.1w)
- Multiple Spanning Tree (IEEE 802.1s)
- Martini
- Kompella
- IS-IS / OSPF / BGP-4 / Mp-BGP
- H-VPLS, totalmente MPLS
- PIM SM
- PIM SSM
- PIM DM
- Fast Convergency protocolo IGP (ISIS o OSPF)
- RFC 2547
- MPLS "Fast Re-Route"
- IGMP Snooping.
- IGMP Proxy
- Mapeo de VLAN a PVC ATM
- 802.3ad
- 802.3af
- 802.1p
- Policing y Rate Limiting
- Manejo de tráfico por VLAN y SVLAN
- SNMP v1,v2,v3 RMON
- CORBA
- Trafic Engineer (RFC 2702)
- MLS Arq (RFC 3031)
- MPLS LSE(RFC 3032)
- LDP (RFC 3036)
- RSVP-TE (RFC 3209)
- LDP State Mac (RFC 3215)
- VPLS
- MPLS Diff Serv. (RFC 3270)
- GRM p/ LDP (RFC 3478)
- Lista de Acceso
- Trans. IPv4 a IPv6
- RipV2 (RFC 2453)
- Full Mesh IBGP (RFC 1966)
- BGP Com Att (RFC 1997)
- BGP Com Att Multi-Home (RFC 1998)
- Multip. Ext (RFC 2283)

Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.

ANEXO G
FRAGMENTO DE PLAN DE NUMERACIÓN VLANS DE TdP

Plan Vlans		Telefónica					
		Speedy					
Item	DSLAM	Inner VLAN			Outer VLAN		
		Rango VLANs			Rango VLANs		
		Frame 1	Frame 2	Frame 3	Frame 1	Frame 2	Frame 3
1	Los Olivos 1						
2	Los Olivos 2						
3	Los Olivos 3						
4	Los Olivos 4						
5	Los Olivos 5	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,001	1,002	1,003
6	Los Olivos 6	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,004	1,005	1,006
7	Los Olivos 7	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,007	1,008	1,009
8	Los Olivos 8	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,010	1,011	1,012
9	Los Olivos 9	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,013	1,014	1,015
10	Los Olivos 10	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,016	1,017	1,018
11	Los Olivos 11	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,019	1,020	1,021
12	Los Olivos 12	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,022	1,023	1,024
13	Los Olivos 13	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,025	1,026	1,027
14	Los Olivos 14	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,028	1,029	1,030
15	Los Olivos 15	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,031	1,032	1,033
16	Los Olivos 16	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,034	1,035	1,036
17	Los Olivos 17	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,037	1,038	1,039
18	Los Olivos 18	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,040	1,041	1,042
19	Los Olivos 19	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,043	1,044	1,045
20	Los Olivos 20	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,046	1,047	1,048
21	Los Olivos 21	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,049	1,050	1,051
22	Los Olivos 22	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,052	1,053	1,054
23	Los Olivos 23	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,055	1,056	1,057
24	Los Olivos 24	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,058	1,059	1,060
25	Los Olivos 25	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,061	1,062	1,063
26	Los Olivos 26	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,064	1,065	1,066
27	Los Olivos 27	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,067	1,068	1,069
28	Los Olivos 28	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,070	1,071	1,072
29	Ancon 1						
30	Ancon 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,073	1,074	1,075
31	Ancon 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,076	1,077	1,078
32	Ancon 4	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,079	1,080	1,081
33	Año Nuevo 1						
34	Año Nuevo 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,082	1,083	1,084
35	Año Nuevo 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,085	1,086	1,087
36	Año Nuevo 4	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,088	1,089	1,090
37	Año Nuevo 5	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,091	1,092	1,093
38	Carabayllo 1						
39	Carabayllo 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,094	1,095	1,096
40	Carabayllo 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,097	1,098	1,099
41	Carabayllo 4	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,100	1,101	1,102
42	Carabayllo 5	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,103	1,104	1,105
43	Carabayllo 6	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,106	1,107	1,108
44	Carabayllo 7	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,109	1,110	1,111
45	Carabayllo 8	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,112	1,113	1,114
46	Carabayllo 9	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,115	1,116	1,117
47	Carabayllo 10	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,118	1,119	1,120
48	Carabayllo 11	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,121	1,122	1,123
49	Chillon 1						
50	Chillon 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,124	1,125	1,126
51	Chillon 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,127	1,128	1,129
52	Chillon 4	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,130	1,131	1,132
53	Chillon 5	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,133	1,134	1,135
54	Collique 1						
55	Collique 2	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,136	1,137	1,138
56	Collique 3	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,139	1,140	1,141
57	Collique 4	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,142	1,143	1,144
58	Collique 5	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,145	1,146	1,147
59	Collique 6	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,148	1,149	1,150
60	Collique 7	11 --- 906	11 --- 906	11 --- 906	1,151	1,152	1,153

NOTA: El rango de Vlans “en blanco” se refiere a reservas para ampliaciones.

Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.

ANEXO H (PARTE I)
MEDICIONES DE CALIDAD DE VOZ

*****Configuración Source _RouterA2 CPE_2 con QoS perfil alta velocidad 2048 kbps Cisco 1800*****
ip sla 207
udp-jitter 200.48.229.2 16543 source-ip 190.233.204.251 codec g729a codec-numpackets 400 codec-size 20
owner CPE_2-2048Kbps
tag CPE_2-2048Kbps
frequency 300
class-map match-all EF
policy-map SETDSCP
class EF
set ip dscp 46
class premium
class-map match-all premium
priority 500
match ip dscp 46
police 56000 1750 1750 conform-action set-dscp-transmit 0 exceed-action
drop violate-action drop
access-list 101 permit udp any any range 16384 32768
interface Ge0/0
service-policy input SETDSCP
access-list 101 permit udp any any range 16384 32768
CPE_2(config)#ip sla schedule 207 start-time now life forever
Show ip sla statistics 207
CPE_21#show ip sla statistics 207
IPSLAs Latest Operation Statistics
IPSLA operation id: 207
Type of operation: udp-jitter
Latest RTT: 20
.721 UTC Thu Dec 20 2014
Latest operation return code: OK
RTT Values:
Number Of RTT: 400 RTT Min/Avg/Max: 19/20/22 milliseconds
Latency one-way time:
Number of Latency one-way Samples: 0
Source to Destination Latency one way Min/Avg/Max: 0/0/0 milliseconds
Destination to Source Latency one way Min/Avg/Max: 0/0/0 milliseconds
Jitter Time:
Number of SD Jitter Samples: 399
Number of DS Jitter Samples: 399
Source to Destination Jitter Min/Avg/Max: 0/1/2 milliseconds
Destination to Source Jitter Min/Avg/Max: 0/1/2 milliseconds
Packet Loss Values:
Loss Source to Destination: 0
Loss Destination to Source: 0
Out Of Sequence: 0 Tail Drop: 0
Packet Late Arrival: 0 Packet Skipped: 0
Voice Score Values:
Calculated Planning Impairment Factor (ICPIF): 4
MOS score: 4.67
Number of successes: 2
Number of failures: 0
Operation time to live: Forever
CPE_2#
*****Source_RouterA2 con QoS Perfil baja velocidad 512 kbps Cisco 1800*****
ip sla 208
udp-jitter 200.48.229.2 16543 source-ip 190.233.204.251 codec g729a codec-numpackets 400 codec-size 20
owner CPE_2-512Kbps

ANEXO H (PARTE II)
MEDICIONES DE CALIDAD DE VOZ

tag CPE_2-512Kbps
frequency
CPE_2(config)#ip sla schedule 208 start-time now life forever
Show ip sla statistics 208
Voice Score Values:
Calculated Planning Impairment Factor (ICPIF): 11
MOS score: 4.12
Number of successes: 2
Number of failures: 0
Operation time to live: Forever
CPE_2#
*****Configuración Targed_Router B Cisco 7200 VXR *****
ip sla monitor responder
class-map match-all premium
match ip dscp 46
class-map match-all best-effort
match ip dscp 0
policy-map AVVID
bandwidth percent 25 19
random-detect dscp-based
random-detect dscp 18 20 40 10
random-detect dscp-based
access-list 101 permit udp any any range 16384 32768
access-list 102 permit tcp any any eq tacacs
access-list 104 permit tcp any any eq www
access-list 108 permit tcp any any eq telnet
access-list 109 permit tcp any any eq smtp
access-list 110 permit tcp any any eq ftp
access-list 105 permit ip any any
priority 500
interface Ge0/0
service-policy output AVVID
service-policy input SETDSCP
access-list 101 permit udp any any range 16384 32768
access-list 105 permit ip any any
*****Configuración Source _Router A1 CPE_1 sin QoS perfil alta velocidad 2048 kbps Cisco 1800*****
ip sla 209
udp-jitter 200.48.229.2 16543 source-ip 190.233.204.250 codec g729a codec-numpackets 400 codec-size 20
owner CPE_1-2048Kbps
tag CPE_1-2048Kbps
frequency 300
class-map match-all best-effort
match ip dscp 0
match access-group 105
policy-map VOIP
class best-effort
policy-map VOIP 18
interface Ge0/0
service-policy output VOIP
access-list 105 permit ip any any
CPE_1(config)#ip sla schedule 209 start-time now life forever
Show ip sla statistics 209
Voice Score Values:
Calculated Planning Impairment Factor (ICPIF): 18
MOS score: 3.74

ANEXO H (PARTE III)
MEDICIONES DE CALIDAD DE VOZ

Number of successes: 2
Number of failures: 0
Operation time to live: Forever
CPE_1
*****Source_RouterA1 sin QoS Perfil baja velocidad 512 kbps Cisco 1800*****
ip sla 210
udp-jitter 200.48.229.2 16543 source-ip 190.233.204.250 codec g729a codec-numpackets 400 codec-size 20
owner CPE_1-512Kbps
tag CPE_1-512Kbps
frequency

CPE_1(config)#ip sla schedule 210 start-time now life forever
Show ip sla statistics 210
Voice Score Values:
Calculated Planning Impairment Factor (ICPIF): 25
MOS score: 3.46
Number of successes: 2
Number of failures: 0
Operation time to live: Forever
CPE_1#

De los parámetros de MOS y métricas ICPIF obtenidos usando Códec g729A de 8 Kbps método de compresión CS-ACELP, de acuerdo a las categorías de calidad homologadas atenemos en el caso de la configuración con QoS para un perfil de alta velocidad de 2Mbps, una calidad de voz EXCELENTE y para un perfil de baja velocidad de 512 Kbps tenemos una calidad de voz ALTA.

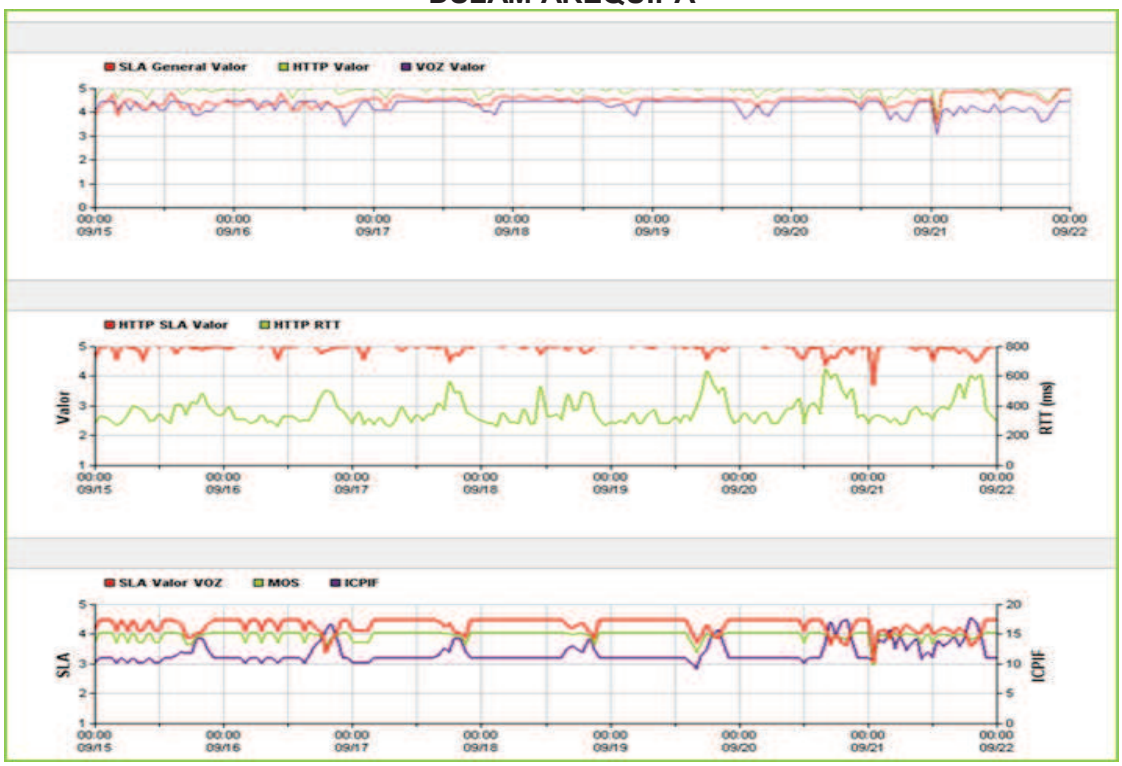
Para el caso de las configuraciones realizadas sin calidad e servicio QoS para un perfil de alta velocidad de 2Mbps tenemos una calidad de voz MEDIA y para un perfil de baja velocidad de 512 Kbps tenemos una calidad de voz BAJA. En el cuadro líneas abajo se muestra la relación del factor MOS y métricas ICPIF respecto al nivel de categoría calidad de servicio de voz.

MOS	Rango ICPIF	Categoría de Calidad
5	0-3	EXCELENTE
4	4-13	ALTA
3	14-23	MEDIA
2	24-33	BAJA
1	34-43	POBRE

Fuente: Cisco System, Inc. IP SLAs Analyzing Service Levels Using the VoIP Jitter Operation

ANEXO I
MEDICIONES DE QoE - SLA DE SERVICIOS ADSL TdP

DSLAM AREQUIPA



DSLAM TRUJILLO

Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.

ANEXO J (PARTE I)
TARIFAS REFERENCIALES DE TDP

Pago Recurrente: GigADSL (US$ sin IGV)

Uso Puerta UNI

Vel.	Tarifa
E3	2,275
STM-1	4,580

Uso PVC Red ATM

Vel. (Kbps)	Tarifa
200 / 128	9.67
400 / 128	12.67
600 / 256	16.23
900 / 256	22.89
1200 / 256	29.32
2048 / 512	45.58

Por Modalidad Acceso ADSL

Vel. (Kbps)	Tarifa
200 / 128	9.67
400 / 128	12.67
600 / 256	16.23
900 / 256	22.89
1200 / 256	29.32
2048 / 512	45.58

Pago Único: GigADSL (US$ sin IGV)

	Descripción	Tarifa
Uso de Red ATM	Habil. Puerta UNI	5,000
	Instal y Config. de PVC	16.71
Acceso ADSL	Instalación de Acceso	16.71

J1: TARIFAS DE REFERENCIA SERVICIO GIGADSL TdP

Pago Recurrente: IP VPN con Acceso Ethernet (US$ sin IGV)

Acceso a la red (clase plata)

Vel. (Mbps)	1 año	2 años	3 años	5 años
02	1064	1000	957	915
04	1277	1200	1149	1098
10	1389	1305	1250	1194
20	1806	1698	1626	1553
30	2215	2082	1994	1905
40	2618	2460	2356	2251
50	3010	2829	2709	2589
60	3395	3191	3056	2920
70	3771	3545	3394	3243
80	4141	3893	3727	3561
90	4503	4232	4052	3872
100	4856	4565	4371	4176
200	7328	6888	6595	6302
400	8426	7921	7584	7247

Equipos Router/ MC/Modem

Vel.	1 año	2 años	3 años	5 años
Mbps	Depende del ancho de banda contratado y los servicios a pasar por el equipo			

Sustit. Caudal clase plata a oro

Vel.	1 año	2 años	3 años	5 años
1 a 5 Mbps	98	92	88	84
6 a 20 Mbps	91	86	82	78
21 a 50 Mbps	88	82	79	75
51 a más Mbps	86	81	78	74

Caudal IP Navegación LDN

Vel.	1 año	2 años	3 años	5 años
0.5 Mbps	1248	1174	1124	1073
1 Mbps	1717	1614	1546	1477
2 Mbps	2430	2285	2187	2090
Por 1 Mbps Adic.	172	161	155	148

J2: TARIFAS DE REFERENCIA DEL SERVICIO IP VPN TdP

ANEXO J (PARTE II)
TARIFAS REFERENCIALES DE TELEFÓNICA DEL PERÚ S.A.A.

Pago Recurrente: Infointernet con Acceso Ethernet (US$ sin IGV)

	Rango Vel. (Mbps)	1 año	2 años	3 años	5 años
Caudal IP x C/. 1Mbps	< 1 - 5 >	750	705	675	645
	< 6 – 10 >	700	658	630	602
	< 11 – 15 >	660	622	595	568
	< 16 - 20 >	630	594	568	542
	21 Mbps más	610	575	550	525

	Vel.	1 año	2 años	3 años	5 años
Equipos Router	Mbps	Depende del ancho de banda contratado y los servicios a pasar por el equipo			

	Vel.	1 año	2 años	3 años	5 años
Equipos Modem	Mbps	Depende del ancho de banda contratado y los servicios a pasar por el equipo			

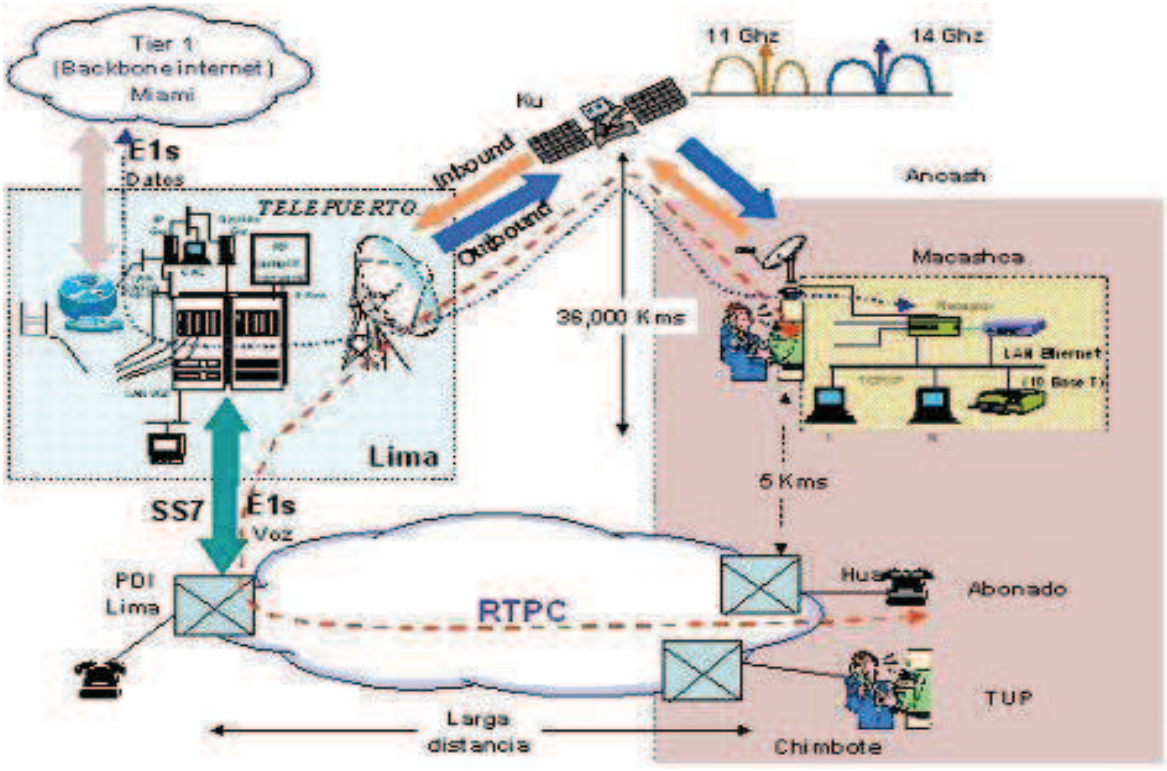
J3: TARIFAS DE REFERENCIA SERVICIO INFOINTERNET TdP

Fuente: Telefónica del Perú S.A.A.

ANEXO K
CONSIDERACIONES DE FITEL

Por razones de transparencia y reglamentarias, los concursos para la asignación de recursos del FITEL patrocinan la neutralidad tecnológica de los proyectos de telecomunicaciones.

Sin embargo, atendiendo a la configuración geográfica y la cercanía de las localidades a las ciudades que en la actualidad cuentan con servicio de BA; la experiencia en los proyectos pilotos financiado con fondos de FITEL; los menores costos de inversión inicial; la rapidez de la instalación y los bajos costos de operación; el Programa ha seleccionado la tecnología inalámbrica para su diseño, operación y financiamiento.



ESQUEMA DE COMUNICACIÓN DENTRO DE UN MISMO DEPARTAMENTO

Fuente: FITEL

ANEXO L
REFERENCIAS BROCHURES EQUIPOS USADOS EN PRUEBAS

DSLAM ALCATEL ISAM 7300 y HUAWEI MA 5600 Series

http://broadbandsoho.com/FTTx/Alcatel_7330_ISAM.pdf
http://www.vector.com.pl/files/91/189/248_a39_huawei%20ma5600t_karty%20katalogowe.pdf
http://www.netdatanetworks.com/img/article/66/tab/dslam-ma5600.pdf

Agregadores - BRAS - NISIP JUNIPER

http://www.juniper.net/techpubs/software/erx/erx402/bookpdfs/swconfig-system-basics.pdf
http://www.juniper.net/techpubs/hardware/erx/junose111/hw-e120-e320-hardware/hw-e120-e320-hardware.pdf
http://www.juniper.net/us/en/local/pdf/datasheets/1000103-en.pdf

Giga Switch Routers CISCO

http://www.cpssales.com/documents/cisco/Cisco-12008-12012-12016-Datasheet.pdf
http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_0s/feature/guide/c12k_fm/c12k_cg2.pdf
http://www.cisco.com/image/gif/paws/47240/arch12000-swfabric.pdf

Switches S8500 Series Huawei

http://www.smartinfo.com.hk/huawei-3com/may2005china/S8500%20Specification.pdf
http://www.smartinfo.com.hk/huawei-3com/may2005china/S8500%20Features.pdf

Switches NE40E HUAWEI

http://www.datainter.cz/doc/NE40E_Universal_Service_Router_V600R002_Product_Brochure.pdf
http://210.212.200.244/attachments/article/122/BSNL%20Datacom%20Technical%20Presentation%20.pdf
http://www.vector.com.pl/files/204/108/113_ne40e%20universal%20service%20router%20v600r001%20product%20brochure%20v1.0_20090928.pdf

Switches NE80E HUAWEI

http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_093130.pdf
http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_132368.pdf
ftp://ftp.landata.ru/Huawei/Docs/Routers/NetEngine%2080E,%2040E%20Core%20Router%20Product%20Brochure%20(eng).pdf